

**A MAGYAR TUDOMÁNYTÖRTÉNETI INTÉZET  
TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEI 36.**

---

**Füstöss László**

# **Maxwell elmélete Magyarországon**

**Sajtó alá rendezte: Gazda István**

**Szakszerkesztő: Bodorné Sipos Ágnes**

**Könyvfejezet „Füstöss László: A maxwelli elektromosság és magyarországi fogadtatása.  
Egy korszakos felismerés a XIX. század fizikájából” címmel  
a Magyar Tudománytörténeti Szemle Könyvtára 73. köteteként  
2008-ban megjelent munkából**

**Budapest, 2008**

Füstöss László



A maxwelli elektromágnesség  
és magyarországi fogadtatása

## II. MAXWELL ELMÉLETE MAGYARORSZÁGON

---

A gravitáció törvényének newtoni megfogalmazása várt esemény volt, hiszen Galilei már kimutatta, hogy a különféle testek azonos gyorsulással esnek a föld felé, a bolygómozgásra vonatkozó három törvénye alapján Kepler pedig csaknem megfogalmazta az általános tömegvonzás törvényét. A távolható erőttörvénnyel szemben ugyan merültek fel ellenvetések, ám a világmindenséget kormányzó kvantitatív szabály iránti igény mindent elsöprőnek bizonyult. Egyúttal egyszerű is volt a törvény, mindenki képes volt felfogni, ha alkalmazni nem is.

A XIX. század utolsó harmadában még nem tört rá a fizikára a befejezettség érzésének fenyegetése, de már közeledett hozzá. Az elektromágneses és az optikai jelenségek körében a kutatóknak nem volt hiányérzetük. Az alapvető törvényszerűségek ismertek voltak, a kuhni értelemben vett normál tudomány termékeny és öntudatos korszakát élte. Maxwell modellje, amely a Faraday-féle elképzelések szellemében tárgyalta az elektromágnességet, bonyolult volt és fárasztó. Az alapvető törvények – mai terminológiával a Maxwell-egyenletek – csak a felső matematikában jártasak számára voltak hozzáférhetőek, és megértésükhöz nem fűződött érdek. Az elektromágnességtan és az optika egyesítésének lehetősége megmozgatta többek fantáziáját, de kísérleti alátámasztás hiányában nem jelentett többet egyes matematikai fogásnál.

A fordulat Németországban következett be azzal, hogy a berlini professzor, Helmholtz bátorította munkatársait, hogy foglalkozzanak a cambridge-i skót fizikus érdekes állításaival. Helmholtz előtt nem volt ismeretlen Cambridge, hiszen az ottani kísérleti fizikai tanszéket harmadikként ajánlották fel Maxwellnek, miután Thomson, majd Helmholtz visszautasították az ajánlatot. A cambridge-i professzorság egyike volt a legjelentősebbeknek, mégis kevésen múlt Maxwell beleegyezése, mert neki is, mint a másik két felkértnek, jól bejáratott tanszéke volt, kipróbált munkatársakkal. A fizika professzorai jól ismerték egymást, és az érintettek azt is tudták, hogy milyen szerencséje volt Cambridge-nek, mert noha harmadikként, de a legnagyobbat sikerült megkapnia.



*Hermann von Helmholtz*

Tehát Helmholtz a hetvenes évek elején felhívta néhány fiatal kutató figyelmét Maxwell elektrodinamikájára. A még húszas éveiben járó grazi professzornak, Boltzmannnak nem kellett Maxwellt bemutatni, hiszen gázkinetikai eredményeinek nemcsak csodálója, de továbbgondolója is volt. Most a frissen növesztett monoklin kénlemez dielektromos állandóját mérte meg. A mérési eredmény alapján a Maxwell formulából számolt törésmutató mindössze 4%-kal különbözött a kísérleti adattól, ami abban az időben az egyik legjobb megfelelésnek számított.

Helmholtz az éter tulajdonságait a mechanika törvényeivel akarta leírni, ezért bízott Maxwell eredményeiben még annak halála után is, és biztatta tanítványát, a fiatal

Heinrich Hertzet a kísérleti áttörés keresésére. Hertz 1887-es kísérlet-sorozata után tehető fel a Maxwell-féle elektrodinamika elterjedésének kérdése. A kísérletek ugyanis részletesek voltak és meggyőzően bizonyították, hogy az elektromágneses hullámok éppúgy viselkednek, mint a látható fény. Hertz kísérletei meggyőzték a fizikusokat Maxwell igazáról, az invenciózus továbbgondolókat pedig az elektromágneses hullámok alkalmazásában rejlő hatalmas lehetőségekről. 1895-ben az olasz Marconi és az orosz Popov rádiójeleket továbbítanak mind messzebbre és mind meggyőzőbb módon.

A Maxwell egyenletek 1864-ben készen álltak, ám a következő húsz évben – Hertz sikeres kísérleteiig – kevés figyelmet keltettek. Azt a keveset Anglia és Németország egyes egyetemein azok a kutatók jelentették, akik felismerték Maxwell kivételes nagyságát, vagy pusztán az elmélet hatásától lenyűgözve hittek benne.

A maxwelli tanok magyarországi elterjedését elhanyagolható hibával számíthatjuk 1887-től. Azonban tanulságos lesz megvizsgálni azt a közeget, amelyben az elektromágneses jelenségek szemléletének gyökeres változása végbe mehetett volna, illetve majd a század utolsó évtizedében legalább részlegesen megvalósult.

## FIZIKA A PESTI TUDOMÁNYEGYETEM

1864-ben volt az országnak egy egyeteme, nyolc évvel később lett még kettő: a kolozsvári Tudományegyetem és a pesti Műegyetem. Az ország lakosságához képest ezzel a három egyetemmel sem értük el a nyugat-európai átlag felét.

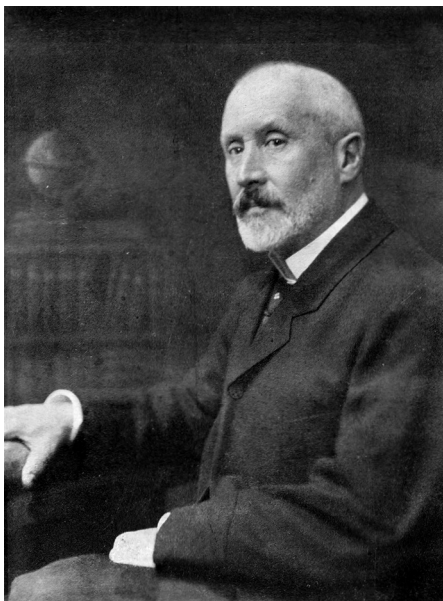
A pesti Tudományegyetem fizika professzora **Jedlik Ányos** volt, sok egyéb között a villanymotor és a dinamó-elv felfedezője, akiben a prioritás kérdése fel sem vetődött, mert meg volt győződve arról, hogy kitaposott úton halad. Kiváló ismeretei voltak a fizikáról, de külföldi fizikusokkal alig volt kapcsolata. Nagyszerű egyetemi tankönyveket írt – befejezeteket és félbehagyottakat – a fizika minden fontos területéről, kivéve az elektromosságtant.

Csak találgatni lehet, hogy milyen mélységben ismerte Maxwell munkásságát. Életkora szerint volt a megismerkedésre harminc éve, aminek felében a legfontosabb fizikai eszméket tanítania is kellett, tehát feltehető, hogy tudott a maxwelli elképzelésekről. Kísérletező munkájában használnia nem kellett, és közzétett írásaiban sem maradt nyoma, hogy hatással lett volna rá az elektromágnesség új felfogása.

A nyugat-európai egyetemek fizika oktatásának bővüléséhez hasonlóan a pesti egyetemen is elméleti fizika tanszék létesült: „...karunk f. (1871) évi március hó 14-én tartott ülésében tárgyalva a felsőbb fizika tanszékeért folyamodók ügyét, abban állapodott meg, hogy egyiket sem lehet közülök e tanszékre ajánlani, hanem egyhangúlag Eötvös Loránd bárót nevezte ki e tárgy előadására helyettes tanárnak; egyetemi magántanárságért kérvényét már e közben beadta.”<sup>14</sup>

Akik ismerték **Eötvös Loránd** egyetemi tanulmányainak történetét, azok számára meglepetés lehetett ez a választás. Eötvös 1867-től Heidelbergben tanult, ahol az akkori idők legnevesebb professzorai: Gustav Kirchhoff (1824–1887), Hermann Helmholtz (1821–1894) és

Eötvös Loránd báró



<sup>14</sup> Fröhlich Izidor: Báró Eötvös Loránd emlékezete. 1848 július hó 27. – 1919 április hó 9. In: Fröhlich Izidor (szerk.): Báró Eötvös Loránd emlékkönyv. Bp., 1930. MTA. p. 34.

Robert W. Bunsen (1811–1899) tanítottak. Zemplén Jolán szerint „*e professzoroktól Eötvös Loránd elsősorban a fizikát tanulta meg. Nem követte egyiket sem valamelyik speciális területén. ... Amikor az ifjú Eötvös Heidelberg után Königsbergbe kerül, az ott művelt elméleti fizika átmenetileg visszariasztotta nemcsak a fizikától, hanem még a laboratóriumi, kutatói pályától is. Ebben kétségtelenül része volt a korabeli fizika helyzetének is. Igaz, valamivel később történt, hogy Jolly, a neves kísérleti fizikus azt mondta Max Plancknak, hogy a fizika – 1880 táján – már kész, befejezett egész, ami hátra van, már csak néhány konstans pontosabb kiszámítása... fiatalember tehát nem adhatja fejét elméleti fizikára. Eötvös Königsbergben – feltehetőleg – úgy érezte, hogy az ott űzött elméleti fizika meddő, kilátástalan, s megtanulni nagyon nehéz.*”<sup>15</sup>

Noha egy idő után megbékélt a königsbergi lehetőségekkel, a szemeszter végeztével visszament Heidelbergbe „1870. évi július hó 8. napján letette a bölcsészeti doktorátust és pedig a természettanból mint fő tárgyból, a matematikából és a kémiából mint melléktárgyakból, Gustav Kirchhoff, Leo Königsberger és Robert Bunsen tanárok előtt; szigorlatát »summa cum laude« fokozattal fogadták el, reményli, hogy atyjának ez öröme fog szolgálni. Ez a summa cum laude fokozat sokak által irigvelt megtiszteltetés; ezenfelül úgy ez, valamint a közvetlenül alatta lévő fokozat feljogosít egy munka benyújtására és egy halom formalitás teljesítése után az egyetemi docenturára.”<sup>16</sup>

Eötvös az egyetemi karrier lehetőségével a pesti egyetemen élt, ahol „rövid ideig tartó magántanári működése után állása véglegesítését a következő legfelsőbb elhatározás képezte: 1872. évi május hó 21. napján értesíti az egyetem akkori Rektor Magnificusa, Toldy Ferenc Bárány Eötvös Loránd urat, hogy őt Ő cs. és apostoli királyi Felsége 1872. évi május 10. napján kelt legkegyelmesebb elhatározásával az elméleti természettani tanszék nyilvános rendes tanárává kinevezni méltóztatott.”<sup>17</sup>

Fröhlich szerint: „Bár ez a véglegesítés báró Eötvös Lorándra nézve igen hízelgő volt és nagy hálára kötelezte őt, ő maga, az alapjában véve tulajdonképpen nagy kísérletező, nem érezhette magát jól kizárólagosan elméleti előadásai keretében; az ő experimentális természete közvetlenül követelte, hogy a tényleges, a megfigyelhető fizikai jelenségekkel is foglalkozhassék.

Ez, az élete további folyására oly szükséges tapasztalati elem kielégítést nyert ő Császári és Apostoli Királyi Felségének 1874. évi október hó 19. napján kelt legfelsőbb elhatározásával, mely báró Eötvös Loránd nyilvános rendes tanárt feljogosította, hogy a budapesti kir. m. Tudományegyetemen a kí-

<sup>15</sup> M. Zemplén Jolán – Egyed László: Eötvös Loránd. Bp., 1970. Akadémiai Kiadó. p. 34., pp. 39–40. (A múlt magyar tudósai)

<sup>16</sup> Fröhlich: Eötvös emlékezete id. tanulmány p. 31.

<sup>17</sup> 1251. bölcs. kari, 12,127. v. és k. min. szám. Dr. Pauler Tivadar m. sk. Az adatok forrása: Fröhlich: Eötvös emlékezete id. tanulmány p. 40.

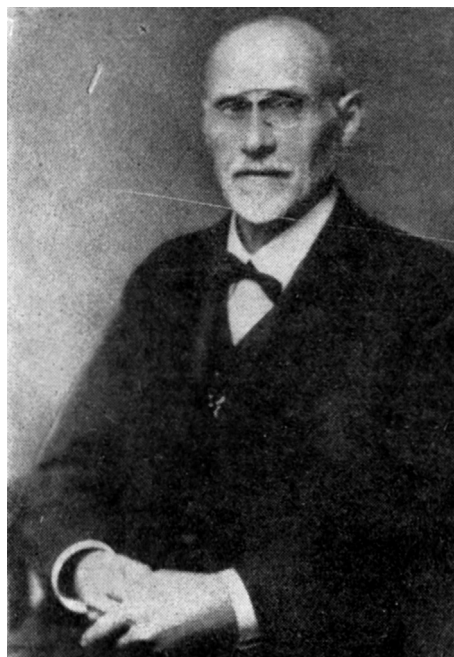


sérleti természettanból is előadásokat tarthasson. Az egyetemi tanács értesített, hogy az egyetemnek természettani szertára, mely Jedlik Ányos rendes tanár vezetése alatt állott, a nevezett nyilvános rendes tanárnak is szabad rendelkezésére állhasson, és a kísérleti természettan rendszeres tanárával együtt közösen használtathassék.

Ezalatt a természettannak említett rendszeres tanára, Jedlik Ányos az 1878. év folyamában hetvennyolc éves korában nyugalomba vonult, amely változás után rövid idővel a következő intézkedés történt: (33,505. min. szám) Ő császári és apostoli királyi Felsége folyó 1878. évi december hó 14-én kelt legfelsőbb elhatározásával a Tudományegyetemnek a természettan jövőendőbeli előadására és a természettani intézet használatára vonatkozó javaslatát legkegyelmebben helybenhagyni méltóztatván, ezen legfelsőbb elhatározás alapján és értelmében Méltóságodat (báró Eötvös Lorándot) az elméleti természettan rendszeres előadásainak kötelessége alól felmentem és a kísérleti természettan rendszeres előadásával megbízom; egyszersmind megengedem, hogy továbbra is tarthassa meg jogát, ebbeli előadásait az elméleti fizikára is kiterjeszteni. Tréfort.”<sup>18</sup>

A kísérleti fizikával párhuzamosan az elméleti fizika tanszék ügye is megoldást nyert **Fröhlich Izidor** kinevezésével. Fröhlich 1874-ben, 21 éves korában ösztöndíjjal Berlinbe utazott, ahol Helmholtz és Kirchhoff mellett dolgozott. Egy évvel később doktorátust szerzett. 1876-ban elméleti fizikából magántanárrá képesítették, 1878-tól a budapesti egyetemen mint rendkívüli tanár Eötvös Loránd utóda, 1885-től ny. r. tanár. 1928-ban vonult nyugalomba.

Ez a budapesti Tudományegyetemen kialakult szereposztás Eötvös haláláig (1919) változatlan maradt. A szereplők nem változtak, ám nézeteik igen. Közkeletű nézet, hogy Eötvös és Fröhlich világképe leragadt a XVIII. századi nézeteknél. Marx György 1990-es írása szerint<sup>19</sup> Fröhlich



Fröhlich Izidor

<sup>18</sup> Fröhlich: Eötvös emlékezete id. tanulmány pp. 40–41.

<sup>19</sup> Vö.: Marx György: Szubjektív fizikátörténet. = Fizikai Szemle 40 (1990) No. 7. p. 94. skk.

kortársa volt a relativitás- és kvantumelmélet kibontakozásának, de tudata két évszázados késésben volt. ...Valóban: könyvet írt a fényelhajlásról Maxwell előtti, hullámoptika előtti szellemben. Bonyolultultra sikerült az érvelése.

Eötvöst illetően megengedőbb Károlyházi Frigyes véleménye: „Ha nálunk mai fizikusok Eötvösről beszélgetnek, olykor zavartan »félrenéznék«, mert átvillan rajtuk, hogy Eötvös, noha néhány évvel később született, mint Röntgen vagy Boltzmann, s csak pár évvel korábban, mint Ostwald vagy Becquerel, nem jött tűzbe a hőtan második főtételétől, még az energiamegmaradás tétele sem imponált neki különösebben, nem ismerte fel a Maxwell-egyenletek óriási jelentőségét, s látszólag érzéketlenül ment el az atomfizika közelgő kibontakozására utaló izgalmas felfedezések sora mellett.”<sup>20</sup>

Bár a feltétlen tisztelet hangján, de ezt a némileg zavarba ejtő képet vetíti elénk a kortárs és tanítvány Mikola Sándor is, a 'Természettudományi Közlöny'-ben 1919. május 1-jén megjelent visszaemlékezésében: „...Hiába jönnek az új, nagyszerű felfedezések, az elektromos hullámok, az elektromos sugárzások, a radioaktivitás, hiába keletkeznek új ... elméletek, az elektromágneses fényelmélet, a sugárzás új elmélete, az elektronelmélet, a quantumelmélet, a relativitás elve: ő még elvéve sem fordul feléjük. Pedig bizonyára voltak rájuk vonatkozó eredeti gondolatai. Szuverén magánosságban megmarad három problémájánál...”<sup>21</sup>

De hát nem zavarba jönni kell, hanem megilletődni! Az új iránti érzéketlenség vádjá egyrészt „történelmi tévedés”. Az apja művét folytatni elszánt, prédikátor Eötvös szükségképpen kötődött az átfogó érvényű, mégis szemléletesen megfogalmazható elvekhez. A mikrovilág pedig... nem látszott ilyeneket kínálni...

A tudománytörténészek kedvelt szófordulata szerint a XIX. században senki nem gondolta, hogy utána a XX. század fog következni. Ezt meg is fordíthatjuk: a XX. században hajlamosak vagyunk elfelejteni, hogy az előző század a XIX. volt. Jolly Philipp, aki – szegény feje – azzal iratkozott fel a fizikatörténet lapjaira, hogy 1880 táján megpróbálta eltéríteni Max Planckot a fizikusi hivatástól, nem volt olyan fantáziátlan, amilyennek ma tűnik. A fejlődés gyors és erőteljes volt, ezt mindenki látta. A mikrovilágból azonban egyszerűen hiányzott az átfogó kép. A benzolgyűrű szén-szén kötéseinek a mai tankönyvekből jól ismert rajzát Kekulé már 1866-ban (!) felrajzolta. De Ostwald még 1902-ben is kijelentette, hogy aki a vegyületeket atomokkal kívánja magyarázni, ugyanolyan

<sup>20</sup> Vö.: Károlyházy Frigyes: Hungariae gentis decus. = Fizikai Szemle 48 (1998) No. 12. p. 397. skk.

<sup>21</sup> Mikola Sándor: Eötvös Loránd. 1848–1919. = Természettudományi Közlöny 51 (1919) p. 217. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 210–225.)

Mikola Sándor egy későbbi megjegyzése szerint: 1919-ben nem járult hozzá ahhoz, hogy ez a beszéde a Tanácsköztársaság hónapjai alatt kiadott periodikában megjelenjen (– a szerk. megj.)



ostobaságot beszél, mintha a gőzmozdony működését azzal akarná magyarázni, hogy egy ló van benne elrejtve. A példák számát szaporíthatnánk. Valahányszor általánosítani próbáltak egy valahol bevált képet, mindig belegabalyodtak.

Kvantumelmélet nélkül, ma már tudjuk, ez nem csoda. Inkább azt kérdezhetjük: „hogyan lehetett így élni”? Nos, a „belenyugvás” az összkép hiányába a fejlődés záloga volt. „Pszichológiailag” ugyanakkor kétségtelenül szükség volt valami „biztonságosra és grandiózusra”. Megvolt erre is a (kanti) megoldás, a kis híján napjainkig elevenen élő felismerés és meggyőződés, hogy gondolkodásunk csak a priori kategóriák mentén haladhat, a „Ding an sich” csupán – és akkor se egyértelműen – megközelíthető. Nagyon is érthető Kirchhoff vagy Mach pozitivizmusa, ami pedig a mai fül számára némileg extravagáns hitetlen Tamáskodásnak tűnik. Így hát nincs azon szégyellni való, hogy a prédikátor Eötvös szemében még az energia fogalma is (nem beszélve az éterrészecskékről stb.) nagyon erősen kapcsolódott az érzékelhetetlenül parányi méretek teljesen soha birtokba nem vehető világához.

Másrésről, a hűséges ragaszkodás a megkezdett témához Eötvösnél nem hiba, hanem szinte szerzetesi erény. „Mint te magad, úgy én sem kívánok egyebet, mint hogy tudós, valóságos és nem dilettáns tudós legyen belőled”.

Tíz éven keresztül keresett Eötvös kutatási témát, ennyi ideig tartott, amíg rátalált a kapillaritásra. Foglalkozott közben elektromos kérdésekkel is,<sup>22</sup> de nem általában az elektromágnességgel. Többször is hozzászólt a távolhatás kérdéséhez.<sup>23</sup>

Zemplén Jolán szerint azonban „...a távolbahatás elemzése során lényegében csupán odáig jutott el, mint Newton, hogy a gravitáció kérdéséről nem érdemes hipotéziseket alkotni. Pedig hivatkozik is Maxwell 1873-ban megjelent *'Treatise on Electricity and Magnetism'* c. főművére, mint Newton óta a legjelentékenyebb próbálkozásra, amellyel igyekezett »...a két pont közötti erő kifejtést a közbenső anyagban tovaterjedő mozgásokból magyarázni«. Eötvös azonban Maxwell munkáját is a német fizikai iskola, Weber, Kirchhoff stb. meddő kísérletei közé sorolja, amikor így folytatja: »De mi volt a nyereség? Az eredeti feltevés helyett még összetettebb feltevések azon anyagot illetően, mely a hatás továbbvitelére szolgáljon«.

<sup>22</sup> Eötvös Loránd: Adatok az electro-statisztika elméletéhez. [Kivonat.] = A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 14 (1880) pp. 4–5.; Eötvös Loránd: Az elektromos sűrítő egy új módjáról a sűrítő gyűrűről. [Kivonat.] = A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 14 (1880) pp. 157–160.

<sup>23</sup> Eötvös Loránd: A rezgési elméletből következő távolbani hatás törvényéről. [Kivonat.] = A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 5 (1871) pp. 207–212.; Eötvös Loránd: A távolbahatás kérdéséről. = A Magyar Tudományos Akadémia Évkönyvei 16 (1877) pp. 57–68.

*Fiatalkori idegenkedése a Königsbergben űzött elméleti fizikától döntő maradt további tudományos érdeklődése szempontjából, és így a maxwelli elektrodinamika mindvégig idegen maradt tőle, ezért a következő konklúzióhoz jut: »Végre is meg kell tehát nyugodnunk abban, hogy a tudomány nem adja a természeti tüneményeknek feltétlenül igaz magyarázatát, hanem csak közelebb vezet ahhoz a határhoz, ahol a megfoghatatlan kezdődik.«*”<sup>24</sup>

Vegyük hozzá ehhez, hogy Fröhlich emlékezete szerint „legkedvesebb fizikus elődjek voltak a tudományában: Newton, a halhatatlan matematikus, fizikus és csillagász, és az igénytelen Faraday, a legügyesebb és legszerencsésebb kísérleti felfedező, kiknek szép arcképei dolgozószobájában mindig szembe előtt voltak.”<sup>25</sup>

### **Fröhlich Izidor, Maxwell egyik legkorábbi magyarországi magyarázója**

Maga Fröhlich Izidor a visszavert fény polarizációs viszonyait évtizedeken keresztül legendás szorgalommal tanulmányozta, paradox módon a leghosszabb ideig a legfontosabb elméleti fizikus posztot betöltő professzor elszánt kísérleti munkálkodása révén vívott ki nagyobb elismerést. Korrektsége, segítőkész személyisége, rendíthetetlen szorgalma megbecsülést szereztek számára, függetlenül anakronisztikus nézeteitől. A Magyar Tudományos Akadémia III. Osztályának titkára, a Természettudományi Társulat fizikai választmányának tagja (48 éven keresztül), maga a megtestesült tekintély és kiszámíthatóság.

A maxwelli elektrodinamika nem volt ismeretlen Fröhlich előtt, nem is lehetett, hiszen tanuló éveiben Maxwell 'Treatise'-e használatos tankönyv volt, és nem térhetett ki a maxwelli koncepcióval szembeni állásfoglalás elől sem. Fenntartásai könnyen származhattak onnan, hogy fiatalon, még kezdőként úgy vélte, lényeges ellentmondásra lelt a Maxwell elméletben a Wiedemann–Franz törvény értelmezésével kapcsolatban.

Az 'Észrevételek Maxwell elektromagnetikus fényelméletéhez' címen írt 1876-os közleményében arra a következtetésre jutott, hogy „az elektromagnetikus fényelmélet alkalmazása jó elektrikus vezető közegekre tehát a tapasztalással egyenes ellentétben álló eredményekre vezet.”<sup>26</sup> Holott a fajlagos elektromos vezetőképességével és hővezetési együtthatóval jellemzett homogén közegre felírt hővezetési egyenlet és egy, a Maxwell-egyen-

<sup>24</sup> M. Zemplén Jolán – Egyed László: Eötvös Loránd. Bp., 1970. Akadémiai Kiadó. pp. 50–52. (A múlt magyar tudósai)

<sup>25</sup> Fröhlich: Eötvös emlékezete id. tanulmány p. 44.

<sup>26</sup> Fröhlich Izidor: Észrevételek Maxwell elektromagnetikus fényelméletéhez. = Műegyetemi Lapok 1 (1876) No. 8. p. 228.

letekből származtatott differenciál-egyenlet azonos felépítéséből levont következtetései fizikailag megalapozatlanok. Meglepő módon a fizikai probléma – egy valóságos hővezetési és villamos áramvezetési probléma körvonalazva sincs, csak két kiragadott egyenlet összehasonlítása, amely a tapasztalati Wiedemann–Franz törvénnyel – amely szerint a villamos vezetőképesség és a hővezető-képesség aránya különböző fémeknél azonos – nem egyező eredményre vezet.

A Maxwell-elmélet feletti diadal még a nagyvonalúságra is lehetőséget adott, és a cáfolat után ez áll: *„Mindazonáltal az elméletet e miatt teljesen elvetni vagy csak mellőzni is azért sem tanácsos, minthogy Boltzmann, Schiller, Silow, Root kísérleti dolgozatai kiderítették, hogy a Maxwell-elméletnek következtetései nem vezető dielektrikus közegekre nézve (szilárd testek, folyadékok, sőt még gázokra nézve is) a tapasztalással igen kielégítő összhangzásban vannak.”* Fröhlich úgy gondolja, hogy a fémek bonyolultabbak a szigetelő anyagoknál, amelyekhez „...kevésbé lesz elegendő Maxwell elmélete, ily bonyolódott folyamatokról kielégítő magyarázatot adni”.<sup>27</sup>

Nem feledkezhetünk meg róla, hogy bár 1864-től a Maxwell-egyenletek rendszere készen állt, de alkalmazásukra legfeljebb bátortalan próbálkozások történtek. Például maga Maxwell is bizonytalan volt abban, hogy különböző szigetelő anyagok határán milyen feltételeket rójon ki az egyes térjellemzőkre, ezért a maxwelli fényelméletben a Fresnel formulák származtatása nem az ő nevéhez fűződik. A modern fizika diszciplínáin alakult világképünket alaposan korlátozni kell, ha a majd másfél századdal előbbi lehetőségeket akarjuk megítélni. Csaknem mindent el kell felejtetni, amit a szigetelők és a fémek tulajdonságainak atomi értelmezéséről tudunk. Így nem várhatjuk el a dielektromos állandó vagy az elektromos ellenállás frekvenciafüggésének ismeretét, ezért a nagy melléfogásokon sem csodálkozhatunk. Fröhlich érvelésében legfeljebb azt a magabiztosságot bámulhatjuk, amivel a század legnagyobb fizikai felismerését degradálja szűk érvényességi körű teóriává, ám ebben elsősorban felkészülése, egyetemi évei tükröződnek. Ő heidelbergi mesterei nyomán valószínűleg úgy gondolta, hogy sikerült ezt a bonyolult, de bizonytalan érvényességű elméletet legalább a természet egy jelentős szegmenséből, az elektromos vezetők tartományából kisseprűzni.

Fröhlichnek nincsen Maxwell fóbiája. A *'Treatise'*-t, mint alapos tankönyvet értékeli és használja, annál is inkább, mert abban csekély szerep jut a maxwelli elektromágneses elméletnek. Az 1887-ben a Tudományos Akadémia Bésán-díjával jutalmazott, *'Az electrodynamometer általános elméletéről'* szóló munkájában J. C. Maxwell, C. Neumann és J. Stefan nyomán felírt empirikus törvényekből indul ki. A dolgozattal kapcsolatban Radnai Gyula véleményét érdemes idézni: *„Ez a munka már magán hord-*

<sup>27</sup> Uo. p. 228.

*ta mindazokat a vonásokat, melyek Fröhlichet egész további pályáján jellemezték: komoly matematikai felkészültség, abszolút tekintélytisztelet, s egyfajta balszerencse vagy ügyetlenség a témaválasztásban. Az említett munkában Fröhlich az elektrodinamométer dinamikáját dolgozta ki az indukció általános differenciálegyenleteinek felhasználásával. Hogy könnyű legyen meghatározni a működés paramétereit, olyan műszert tervezett és építtetett meg, melynek álló tekercse egy gömbfelületre volt csévélve, hogy homogén legyen benne a mágneses tér. Mintha csak a Helmholtz-tekercseket fejlesztette volna tovább, a gyakorlat számára teljesen használhatatlan módon.”<sup>28</sup>*

A Hertz-féle áttörés után Fröhlich a maxwelli felfogás hívének bizonyult, amikor 1892. március 3-án a Matematikai és Fizikai Társulat ülésén *'Az energia mozgása az elektromágnesi térben'* címmel egy kiválóan felépített előadást tartott ebben a szellemben. „...a Faraday- és Maxwell-től kezdeményezett felfogás... arra készítetnek, hogy... a vezetőt környező közegnek is fontos szerepet tulajdonítsunk. ... Maxwell megvizsgálta, mennyi energia rejlik a közegben, s oly kifejezéseket állít elő, melyek a tér minden részének erélyt tulajdonítanak, melynek (a térfogat egységében foglalt) mennyisége az  $e$  tér részben felmerülő elektromindító és mágnesi intenzitásoktól, továbbá a közegnek erre vonatkozó természetétől, nevezetesen dielektromos és mágnességi permeabilitásbeli (áthatósági) állandóitól függ... Maxwell ezen elméletét véve alapul, természetszerűen a következő probléma merül fel: Hogyan halad az elektromos áramot körülvevő energia pontról-pontra, azaz mily utakon és mily törvény szerint halad az energia a zárt vezeték azon részeiből, melyekben legelőször mint elektromos és mágnesi energia észrevehető, ama részek felé, melyekben melegebbé vagy más formájú energiává alakul át.”<sup>29</sup>

Ezután az előadás alapján született cikkben 30 oldalon keresztül a Poynting vektor konkrét alkalmazásai következnek, kristálytiszta és meggyőzően mutatva rá az energia áramlásának konkrét eseteire, még olyan bonyolult esetben is, mint a vasmag átmágnesezése.

<sup>28</sup> Radnai Gyula: Az Eötvös-korszak. In: Kovács László (szerk.): Fejezetek a magyar fizika elmúlt 100 esztendejéből (1891–1991). Bp., 1992. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. p. 34.

<sup>29</sup> Fröhlich Izidor: Az energia mozgása az elektromágnesi térben. = Matematikai és Fizikai Lapok 1 (1892) pp. 310–311.

**Az energia mozgása az elektromágnesi térben<sup>30</sup>**

**I. A Faraday–Maxwell-féle felfogás. Az energia mozgásának törvénye és ennek értelmezése<sup>31</sup>**

*1. Bevezetés.* Az elektromos áramokat környező tér oly természetűnek tekintendő, melynek bizonyos részeiben az energia – telepek, dynamogépek, thermo-elektromos hatások stb. közvetítésével – elektromos és mágnességi hatásokba s alakokba átváltozik, a tér más részeiben pedig ugyanez az energia meleggé, vagy az elektromágnesi hatások által végezett munkává, vagy az áramok által egyáltalában szolgáltatható valamely fajú energiává alakul át.

Az elektromos áramot előbb oly valaminek tekintették, a mi a vezető mentén halad, a figyelmet főleg a vezetőre vagy a vezeték felé fordították, a zárt vezeték valamely részében megjelenő energiáról pedig azt vették fel (ha erről egyáltalában említés történt); hogy ezt maga az áram viszi tovább a vezető mentén.

Ámde az elektromágnesi és elektrodinamikus távolhatások, valamint az indukált áramok létezése, mely utóbbiak energiája az első (indukáló) áramból vagy mágnesből vagy pedig más, távolban levő energia-forrásból ered, a Faraday- és Maxwell-től kezdeményezett felfogás szerint arra készítetnek, hogy e tünetmények létrejöttében a vezető környező közegnek is fontos szerepet tulajdonítsunk. Ha az energia mozgásának folytonosságát felvesszük, azaz ha feltételezzük, hogy ha egy helyen eltűnik és egy másik helyen ismét felmerül, akkor annak a közbeneső téren is át kellett haladnia s így azt a felfogást is kell jögo-

<sup>30</sup> Forrás: Fröhlich Izidor: Az energia mozgása az elektromágnesi térben. = Matematikai és Fizikai Lapok 1 (1892) pp. 309–339. (Részlet: pp. 309–312., pp. 331–339.)

<sup>31</sup> Fröhlich az alábbi forrásokat jelölte meg tanulmányához:

J. H. Poynting: Az energiának az elektromágnesi térben való átviteléről. = Philos. Transactions of Roy. Soc. of London. Vol. 175. (1884) pp. 343–361.

J. H. Poynting: Az elektromos áram és a környező térben végbemenő elektromos és mágnesi indukciók közötti összefüggésről. = Proceedings of Roy. Soc. of London. Vol. 38. (1885) pp. 168–172.

J. H. Poynting: Az elektromos áram vonatkozásai a környező térhez. = Proc. of Birmingham Phil. Soc. Vol. 5. (1887) No. 2. p. 17.

Sylvanus P. Thomson: A szigetelőben felmerülő eltolásbeli (polározásbeli) áramok mágnesi hatásáról. = Proc. of Roy. Soc. of London. Vol. 45. (1889) pp. 392–393.

J. Bohgmann: A kondenzátorok szigetelő üvegének az intermittáló elektromozgás folytán felmerülő felmelegedéséről. = Wiedmann's Beiblatter. Vol. IX. (1887) p. 50.

J. J. Thomson: Az elektromos tér sajátosságainak indukció-csővek segítségével való előtűntetése. = Philosophical Magazine. 5. series. Vol. 31. (1891) pp. 149–171.



sultnak tekintenünk, hogy ezen energiának legalább egy része magában a környező közegben rejlik, s hogy e közeg az energiának pontról-pontra való átvitelére, továbbszállítására alkalmas.

Kiindulva ebből az alapból, Maxwell<sup>32</sup> megvizsgálta, mennyi energia rejlik a közegben, s oly kifejezéseket állít elő, melyek a tér minden részének erélyt tulajdonítanak, melynek (a térfogat egységében foglalt) mennyisége az e térrészben felmerülő elektromindító és mágnesi intenzitásoktól,<sup>33</sup> továbbá a közegnek erre vonatkozó természetétől, nevezetesen dielektromos és mágnességi permeabilitásbeli (áthatósági) állandóitól függ. Ezek a kifejezések, a mennyire tudjuk, az összes energiáról adnak számot. Maxwell felfogása szerint az áramok lényegükben véve az energiának a vezetőben és a környező közegben való bizonyos eloszlásából állanak, mely eloszlás az energiának átalakulásával s ebből folyólag a téren keresztül való mozgásával jár.

Maxwell ezen elméletét véve alapul, természetszerűen a következő probléma merül fel: Hogyan halad az elektromos áramot körülvevő energia pontról-pontra, azaz, mily utakon és mily törvény szerint halad az energia a zárt vezeték azon részeiből, melyekben legelőször mint elektromos és, mágnesi energia észrevehető, ama részek felé, melyekben meleggé vagy más formájú energiává alakul át?

Poynting idézett értekezései közül az elsőnek célja annak a bebizonyítása, hogy az energia nevezett átvitelére vonatkozólag egy általános törvény áll fenn. E törvény értelmében az erély merőlegesen mozog arra a síkra, mely az elektromos és a mágnesi erőt magában foglalja s e sík felületegységén át az időegység alatt áthaladó energia mennyisége szám szerint egyenlő a nevezett két erő szorzatával, szorozva még a kettő által bezárt szögnek sinusával s osztva  $4\pi$  (1. ábra).

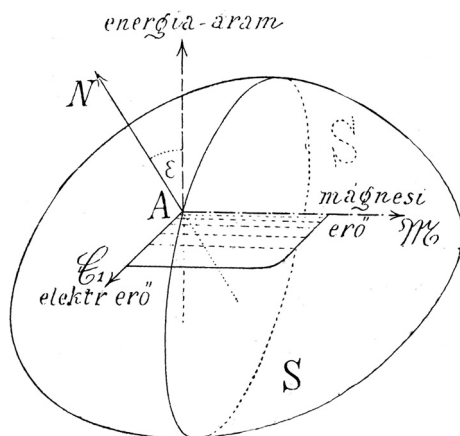
Végre a haladás iránya megegyezik egy jobb-sodrású csavar tengelyének haladásával, ha ezt az elektromos erő pozitív irányától a mágnesi erő pozitív iránya felé fordítjuk (1. ábra és 2. ábra).

2. Előrebocsátván a Maxwell felfogását jellemző néhány megjegyzést, a következőkben adjuk azon eljárás vázlatát, mellyel Poynting a jelzett törvényt leszámaztatta:

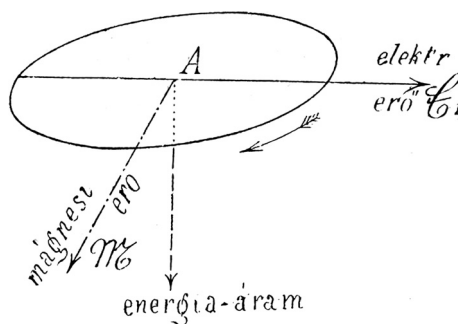
Az elektromos erő a szigetelő minden elemében az elektromosságok elválasztását létesíti, de az elektromosságok, a szigetelő természe-

<sup>32</sup> Maxwell ezen vizsgálatait egyebek között: 'A Treatise on Electricity and Magnetism' (Az elektromosság és a mágnesség tankönyve) című híres könyvének (első kiadás: Oxford, 1873., második kiadás: London, 1881), mely B. Weinstein német fordításában 'Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus' címmel 1883-ban jelent meg, II. kötete 630–633. §-aiban foglaltatnak.

<sup>33</sup> Itt ezen intenzitásokat teljesen oly értelemben vesszük, mint ezek az *elektromos tér intenzitása* és a *mágnesi tér intenzitása* elnevezéssel Czögler Alajos 'Fizikai egységek' (Bp., 1891. KMTT.) című könyvének 64. és 73. §-aiban (p. 94, 105.) definiálva vannak.



1. ábra



2. ábra

ténél fogva, nem távozhatnak a szigetelő ezen eleméből s így ez elem egyik végén szabad pozitív, másik végén pedig szabad negatív elektromosságot mutat. E szerint az elektromos erő befolyása alatt a szigetelő minden eleme elektrosztatikai polározottságot mutat. Legyen  $dv$  egy ily elemi rész térfogata, melyet egyszerűség kedvéért hasábszerűnek s az elektromindító erőhöz párhuzamos fekvésűnek tekintünk, továbbá  $dn$  az erőre merőleges,  $+Q$  illetve  $-Q$  szabad elektromos töltést mutató két véglapjának egymástól való távolsága és  $k$  a keresztmetszete. Akkor  $dv = k \cdot dn$ ; az elektromosságnak ama mennyisége pedig, melynek a közegben levő elektromos erővonalakra merőleges keresztmetszet egységén át kell haladnia, hogy a közeg a neutrális állapotból az említett polározott állapotba jusson, egyenlő a  $Q : k$  hányadossal. Ez a mennyiség Maxwell szerint<sup>34</sup> az elektromos eltolódás, elosztás (electric displacement), vagy pedig polározás. Maxwell minden testet úgy tekint, hogy benne az elektromindító erő befolyása alatt egyrészt az elektromosság áramlásnak indul és így vezetésbeli áram létesül, másrészt pedig a test elektrosztatikailag polározódik; szóval minden test egyszerre vezető is, meg szigetelő is, de e két tulajdonság foka különböző testekben nagyon különböző. A vezetőekben az előbbi tulajdonság az uralkodó; a szigetelőkben megfordítva. (...)

#### 6. példa. Indukált áramok.

Nem könnyű dolog, magunknak azon energia-mozgásról átnézetes képet alkotni, mely bekövetkezik, mikor az elektromágnesi tér változik és indukált áramok keletkeznek. Mindazonáltal általánosságban beláthatjuk, hogy ezen áramok miképpen keletkezhetnek.

Ha valamely térben állandó áram létezik, akkor ennek az energia

<sup>34</sup> Maxwell id. műve Vol. I. 60., 68. §)

bizonyos meghatározott eloszlású térbeli mozgása felel meg. Ha e térben egy másodrendű áramvezető van jelen, akkor e vezetőben mindaddig, míg az elsőrendű áram állandó marad, semmiféle elektromindító erő nem léphet fel, mert, e másodrendű vezető minden pontjában a potenciál ugyanaz. Ennek értelmében e vezető külső felülete egy szintfelület s így, ha e vezető szomszédságában egyáltalában energia-áramlás létezik, akkor ez csakis a felület mentén történhetik, vagyis az energia a vezető külső felülete mentén halad, de a vezető belsejébe nem hatol s abból ki sem áramlik, hanem úgy áramlik a vezető körül, mint például valamely folyadék egy szilárd akadály, egy sziget körül áramlik. De a mint az elsőrendű áram helyzete vagy erőssége változik, a térben az energia-áramlás változása következik be. Mindaddig, míg e változás tart, a tapasztalás szerint a másodrendű zárt vezeték anyagi vezetőiben mulékony elektromindító erő fog fellépni, mely vele egyirányú áramot s hozzátartozó mágnesi erővonalakat létesít; e szerint az energia egy része a vezetőbe be fog hatolni s ott részben meleggé, részben munkává alakul át, szóval ez az egész folyamat az indukált elektromos áram jelensége.

*7. példa. A fény elektromágnesi elmélete.*

Maxwell felfogása szerint<sup>35</sup> az elektromos és a mágnességi erőváltozások a vezető s a szigetelő közegekben oly sebességgel terjednek tovább, mint a fény; sőt a fényjelenségek maguk is periodikus elektromágnesi zavarokból állanak. Herz híres kísérletei az elektromágnességi erők s hatások terjedési sebességét, törését s visszaverődését kísérletileg megállapították s evvel e felfogást igen plausibilissé tették.

Maxwell szerint e jelenségeknél a mágnesi erő merőleges az elektromos erőre és továbbterjedésük  $v$  sebességének iránya mindkettőre merőleges. Ha a térfogategységnyi köb élei ezen irányokhoz párhuzamosak, akkor a sugárzó energia  $I : v$  idő alatt halad rajta végig s mozgásának törvénye szerint e köbre nézve áll

$$\frac{EH}{4\pi v} = \frac{KE^2}{8\pi} + \frac{MH^2}{8\pi}$$

További tárgyalások, melyek részletezése itt messze vezetne, azt adják, hogy  $v = 1:\sqrt{MK}$  és  $H = KvE$ , miből következik, hogy ezen elektromágnesi fényjelenségeknél minden térfogati elemekben az elektromos és a mágnesi energia egymással egyenlő értékű.

<sup>35</sup> Maxwell id. műve Vol. II. 781–805. §.

### III. Kiegészítő és befejező megjegyzések

1. J. C. Poynting idézett értekezései közül az elsőt a következő szavakkal fejezi be:

„A felsorolt példák talán elegendők annak a kimutatására, mily könnyű dolog néhány általánosan ismert kísérleti tényt az energia-áramlás fent megállapított általános törvényével összhangzásba hozni.

Nem tudom bizonyosan, vajon eddig létezik-e szigorú elmélet azon útra nézve, melyen a zárt áramvezeték különböző részeiben fejlesztett energia tovább mozog; de úgy gondolom, fennáll az az általános, kissé bizonytalan nézet, hogy az energiát az elektromos áram a vezető mentén tovább szállítja. Valószínű, hogy a Maxwell-től származó, a közegben lévő energia egyik tényezőjének megjelölésére szolgáló, «elektromos eltolódás» (displacement) kifejezésnek bevezetése eme vélemény támogatásáért szolgált. Nagyon nehéz dolog szabatosan szem előtt tartani azt, hogy ez az »eltolódás« vagy »elhelyezés« a mennyiben róla egyáltalában valamit kimondani képesek vagyunk, csak valami iránymennyiség, mely az összenyomhatatlan folyadékok- vagy a szilárd testekben fellépő valóságos eltolódások néhány tulajdonságával bír. Ha azt tapasztaljuk, hogy Maxwell szerint az »eltolódás« az áramot vivő vezetőben az idővel folytonosan növekszik, akkor majdnem lehetetlen elkerülni azt, hogy ezen »eltolódást« ne úgy képzeljük, mint a mely a vezető mentén mozog és csak egészen természetszerűnek látszik ezt az »eltolódást« az energia továbbszállítására alkalmas képességgel felruházottnak tekinteni.

[Természetesen kiderülhet az, hogy az elektromos erővonalak mentén tényleg eltolódás bekövetkezik. De éppen úgy lehetséges, hogy az elektromos »eltolódás« csak függvénye a valóságos eltolódásnak és képzelhető, hogy különböző elméletek állíthatók fel, melyekben e függés lehetséges, míg ez elméletek a megfigyelt tényeknek, mind megfelelnek. Glazebrook<sup>36</sup> az utóbbi években már kidolgozott egy ily elméletet, melyben a tér valamely pontjában fellépő elektromos eltolódás  $x$ -menti componense  $\frac{1}{8\pi} \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right)$

értékkel egyenlő, hol  $\xi$  a valóságos eltolódás  $x$ -menti összetevője.]

Úgy látom, mintha az »eltolódás« kifejezésének használata kissé szerencsétlen volna, mivel gondolkodásunkat oly sok be nem bizonyított, esetleg hamis dolog elképzelésére készíti, míg másrészt igen nehéz szem előtt tartani, hogy tulajdonképpen mily keveset fejez ki.

Ezen oknál fogva néhány esetet, melyben az áramot vivő zárt vezetékben végbemenő energia-átvitelnek módja a fent közlött törvény érteleiben meg lesz határozva, kissé terjedelmesebben tárgyaltam,

<sup>36</sup> Philosophical Magazine. 5. series. Vol. 11. (1881) p. 397.

mert azt gondolom, hogy okvetetlenül szem előtt kell tartanunk, miszerint Maxwell-nek a közegben lévő energiáról való felfogását elfogadva, már nem szabad az áramot olyasminek tekintenünk, a mi a vezető mentén energiát szállít el. A vezetőben lévő áramot ellenkezőleg úgy kell felfognunk, hogy ez lényegében véve az elektromos és mágnesi energiának a nem vezető (szigetelő) közegből a vezetőbe való áramlásából s ez energiának ott más alakokba való átváltozásából áll. Az u. n. elektromindító erőnek székhelyén áthaladó elektromos áram lényegében véve az energiának a vezető-ből az azt környező nem vezetőbe történő kiáramlásából áll.

A mágnesi erővonalak a vezető minden részére nézve az áramkörhöz képest mindig egy s ugyanazon irányú zárt görbét képeznek, míg az elektromos erővonalak az áramkörnek két fő részében ellenkező iránnyal bírnak és pedig az árammal egyirányúak a vezető egész hosszában, ahol elektromindító erő nincsen, az elektromindító erő székhelyén (illetőleg székhelyein) pedig az árammal ellentett irányúak. Ezen felfogásból következik, hogy egy állandó áramot vivő zárt vezeték (zárt vonal) mentén az elektromindító erő összegét képelve: zérust nyerünk, azaz, hogy az a munka, melyet végzünk, ha a pozitív elektromosság egységét az áram mentén a zárt áramkörön egyszer végig visszük: zérus értékű. Ugyanis ezen egységnek az energia székhelyében az elektromindító erővel ellentett irányban való mozgatása közben munkát kell végeznünk, miközben ez a munka ugyanannyi energiát bocsát ki a közegbe; míg az áramvezeték hátralevő részébe, melyben ez az egység az elektromindító erő mentén lesz mozgatva, ugyanily mennyiségű energia ömlik be.

A zárt áramkör különböző részeinek egymás közötti vonatkozásainak ezen tárgyalási és felfogási módja – amennyire tájékozva vagyok – a különben szokásos eljárástól nagyon elütő, de úgy látom, mintha e felfogás jobban adna számot az ismert tapasztalati tényekről. Első tekintetre úgy tetszik, mintha az energia mozgásának ezen módjáról, ha az tényleg így történik, új kísérleti bizonyítékokkal kellene bírunk; mintha ott kellene bizonyítékokat keresnünk, hol az energia más alakokba átváltozik, t. i. a vezetőkben. Ámde, ha a tér stationárius állapotban van, akkor a benne elhelyezett (az áramkörrel össze nem függő, másodrendű) vezetőben nincs elektromindító erő s így e vezetőben az energia nem bír mozgással és nem szenved átalakulást. Az energia csak e vezető külső határfelülete körül áramlik, feltéve, hogy az energia e vezető közelségében egyáltalában mozgásban van. Ha az elektromágnesi tér változó, akkor az energia behatolhat a vezetőbe, mivel ekkor a vezetőben időleges elektromindító erő keletkezhetett s ezzel kapcsolatban az energiának átváltozása is bekeletkezhetik. De az átváltozás ezen nemét tapasztalatilag már jól ismerjük: ez az indukált áramot létesíti s alkotja.



Hiszen tényleg az az alapegyenlet,<sup>37</sup> mely az energia mozgását kifejezi és meghatározza, csak Maxwell elektromossági és mágnességi egyenleteiből van leszármaztatva, melyek úgy vannak képezve, hogy az eddig ismert összes e fajta kísérleti tényeket magukban foglalják. Ezek között a másodrendű vezetőkörökben fellépő inductio törvényei is vannak és ezért ez utóbbiaknak az energia mozgásának törvényével megegyezésben kell lenniök. E szerint az eddig ismert kísérleteken kívül alig remélhetjük e törvény további igazolását, hacsak nem fedeztetnek fel új kísérleti módszerek arra nézve, hogy azt, a mi a szigetelőben végbe megyen, a másodrendű vezetőkörtől függetlenül lehessen megvizsgálni.”

2. Ezen utolsó pontra vonatkozólag azóta némi tapasztalásaink vannak, melyek azonban e kérdésre kimerítő feleletet nem adnak. J. Borgmann idézett dolgozatában, valamint W. Siemens is kimutatták, hogy az intermittáló elektromozásnak alávetett kondenzátorok szigetelő üvege észrevehetőleg, thermo-áramokkal kimutatható módon felmelegedik. Hasonlóképpen kimutatta Sylvanus P. Thomson fent idézett dolgozatában, hogy e szigetelőben keletkező eltolódási (polározásbeli) áramok tényleg bírnak mágnesi hatással. Ugyanis egy Ruhmkorff-induktor két sarkát a sűrítő két lapjával egybekapcsolván, ebben intermittáló elektromozás létesült. A lapok közötti szigetelőben a lapokhoz párhuzamosan szigetelt dróttal körületekert lágy vasgyűrű volt elhelyezve s a drót végei telefonnal összekapcsolva. A vasgyűrű a szigetelő rétegben fellépő intermittáló polározásbeli áram behatása alatt váltakozva megmágnesedett és lemágnesedett. A telefonban hallható hangok jelezték e jelenség lefolyását.

De e kísérletek nem elegendők az energiának a szigetelőben végbemenő mozgásának tényleges konstatálására s e tovább haladásnak pontról pontra való követésére.

3. Ezért Poynting és utána J. J. Thomson idézett értekezéseikben, különösen az utóbbi, elméletezés alapján törekedtek e mozgás mibenlétének magyarázatára. Mindkettő az elektromos inductiocsővek létezéséből indul ki<sup>38</sup> s ezekből, valamint ezeknek az elektromos térben való mozgásából vezetik le az elektromágnesi tér legfontosabb tulajdonságait. Épen úgy lehetne a mágnesi inductiocsőveket alapul venni; de kétségtelen, hogy az elektromos csöveknek nagyobb jelen-

<sup>37</sup> p. 314.

<sup>38</sup> Ha a tér bármely pontján uralkodó elektromos erő irányára merőleges kis lapot szerkesztünk s e lap valamennyi kerületi pontján áthaladó elektromos erővonalakat meghúzzuk; akkor az ezen erővonalak által határolt csőalakú tér-részt elektromos erőcsőnek nevezzük. Hasonlóképpen szerkesztődnek a mágnesi erőcsövek a mágnesi erővonalakból. E csöveket még inductio-csőveknek is nevezik, mert geometriai tengelyük mentén történik mindenütt a mágnesi vagy elektromos inductio.

tőiséget kell tulajdonítanunk, már csak azért is, mert az elektromos jelenségek Faraday elektrolytikai törvénye révén az atom-szerkezettel a legszorosabban vannak egybefűzve s mert az elektromos áram mindig létesít mágnesi hatásokat, míg mágnesek, ha helyzetük és állapotuk állandó, nem létesítenek elektromos hatásokat.

Maxwell felfogása szerint az egész elektromos tér ily csövekbe van osztva s Poynting most feltételezi, hogy az elektromos induction-csövek az elektromindító erő székhelyéből kiindulnak s az áramot vivő drót felé haladnak, ott eltöretnek vagy feloszlatnak, míg a mágnesi induction-csövek a vezető sodrony felé szűkülve, összehúzódnak s végre a vezetőben látszólag elenyésznek. Az eképpen az elektromágnesi térből kilépett csöveket az elektromindító erő székhelyéből kinövő új meg új ily csövek helyettesítik. Így a 2. példában tárgyalt kondenzátor kisülésénél az elektromos erővonalaktól körülvelt induction-csövek a kondenzátor szigetelő rétegéből kifelé s oldalvást úgy mozognak, hogy végeik először a kondenzátor-lapok, azután az összekötő kisülési drót mentén haladnak. E végeken egyszersmind a csőben lévő elektromos energia a drót fémtömegébe behatol, ott szétbomlik s meleget létesít, míg teljesen feloszlott. A térnek mágnesi energiája az elektromos induction-csövek ezen haladása által létesül. Állandó áram keletkezik, ha egy helyen mindig új meg új induction-csövek létesíttetnek. Az induction-tekercsben az indukált áram az által gerjesztetik, hogy az indukáló áram induction-csőveinek egyes részeit az induction-tekercs menetei felfogják.

E felfogás szerint az elektromos áramnál a szigetelőben játszódik le a jelenségnek első (primarius) része, a drót maga csak másodrendű szereppel bír. A kábeleken a szigetelő burok az energia vezetője.

J. J. Thomson a fent jelzett Maxwell- és Poynting-féle feltevéseken kívül még felveszi, hogy a molekulákban, az atomok között is vannak induction-csövek, de ezeknek az elektromos térre befolyásuk nincs.

Az inductioncső sem újból nem teremthető, sem el nem nyészhetik teljesen; ha az elektromos térből kilép, úgy, hogy ott már többé nem mutatható ki, akkor csak saját molekuláris méreteire húzódott össze s evvel mindig chemiai egyesülés jár. Megfordítva, nagyobb hosszaságú induction-csövek, melyek az elektromos térre befolyással vannak, csak a molekuláknak szabad atomokba való bontásánál keletkeznek, mely szétbontás által az előbb rövid induction-csövek meghosszabbodnak.

Mathematikai fejtegetések, melyek az elektromosság és mágnesség tapasztalati alaptételeiből indulnak ki, de a melyeket itt mellőzünk, bebizonyítják, hogy a mozgó elektromos induction-cső oly mágnesi erőt létesít, melynek iránya az elektromos erő irányára és a cső mozgásának irányára merőleges és

melynek nagysága =

$$= 4\pi \times \text{az inductio-cső erőssége}^{39} \times \text{a reá merőleges sebességi összetevő}.$$

Az inductio elektromos sajátosságait J. J. Thomson könnyen nyeri:

Ha  $H$  a mágnesi,  $E$  az elektromos erő,  $H_x, H_y, H_z$ , illetőleg  $E_x, E_y, E_z$  a componenseik,  $f, g, h$  azon egység-erősségű csövek száma, melyek a szigetelőben a koordináták síkjaihoz párhuzamos területegységeken áthaladnak,  $u, v, w$  pedig e csövek sebességi componensei, akkor:

$$H_x = 4\pi(hv - gw) \text{ stb.}; E_x = H_y w - H_z v \text{ stb.}$$

s ez utóbbi egyenletekből, melyek a  $\frac{H^2}{8\pi}$  mágnesi energiának az  $f, g, h$  szerinti differentiálásából nyerhetők, az inductio közönséges törvényei folynak. Differentiálva továbbá a mágnesi energiát az összrendezők szerint, J. J. Thomson egy «nyomaték» componenseit nyeri, mely az áramátfoltya vezetők között működő dinamo-elektromos erők magyarázatánál szerepet játszik. J. J. Thomson véleménye szerint az inductio-csővek, melyek a vezető belsejében összehúzódnak, mintegy ebben feloszlódnak, »nyomaték«-ukat e vezetőnek adják át. A dinamo-elektromos erő ugyanis az által keletkezik, hogy ez az összehúzódnak nem történik minden oldalról szimmetrikusan.

4. Az elektromágnesi jelenségeknek a megelőző 3. pontban részletezett magyarázatának legfőbb nehézségei a permanens mágnesek s általán az állandó mágnesi terek s a telepek chemiai jelenségeinek értelmezésében keresendők. Poynting ezekről nem szól, J. J. Thomson felveszi, hogy az állandó mágnesi terekben ellentett irányú inductio-csővek ellenkező irányban mozognak és pedig, miként azt külön vizsgálat mutatja, a fény terjedésének sebességével.<sup>40</sup>

A puha vas viselkedését pedig úgy értelmezi: ha az inductio-csővek oly téren keresztül mozognak, melyet részben vas tölt be, akkor – mivel a csövek tehetetlensége a vasban sokkal nagyobb, mint a levegőben – a csőnek a téren való átvonulása a vas jelenléte által olyformán lesz befolyásolva, mint egy elektromos áramé, ha a levegőt jó s a vasat rossz vezető által helyettesítve gondoljuk. A vas felületén való mágnesezés megfelelne az inductio-csővek tengentiális sebessége discontinuitásának.

*Zárszó.* Az energiának az elektromágnesi térben való, e czikk I. és II. részében értelmezett átvitele a Faraday–Maxwell-féle felfogás matematikai következménye gyanánt tűnik elő.

<sup>39</sup> Ez a csőben foglalt erővonalak számával arányos mennyiség.

<sup>40</sup> A *T idő*, mely alatt az inductio-cső a fémekben eltűnik (azaz molekuláris távolságra rövidül), egyenrendű egy fényrezgés időtartamával; ugyanis  $T = \frac{K}{4\pi} \cdot \frac{\sigma}{9 \cdot 10^{20}}$  hol  $K$  a di-

lektr. állandó elektrost. mértékben,  $\sigma$  a vezető fajlagos ellenállása mágnesi mértékben. A  $K$  fémekre nézve igen nagy.

A környező közegnek ezen átvitelnél való szerepe azonban még nincsen tisztázva. Ismerjük ugyan az energiának a közegen való áthaladása idejét, mert ennek a dolog természete szerint avval az idővel kell egyenlőnek lennie, mely alatt az elektromos impulsus az elektromindító erő székhelyéből a vezető sodronynak tekintetbe vett részeig terjed; erre nézve igen számos kísérleti adatunk van. De nem ismerjük az energiának azt a formáját vagy azon formáit, mellyel vagy melyekkel ez a közegen át mozog; hogy ez hullámszerű, szakaszos mozgás, ezt Herz és követőinek kísérletei igen valószínűvé teszik.

Bármiként legyen is a dolog, kétséget nem szenved, hogy a Faraday–Maxwell-féle felfogás e téren is teljesen megváltoztatja eddigi nézeteinket s a kísérleti vizsgálódásnak itt is nagyérdekű új irányt jelöl ki.

A zárszóban ismét hitet tesz a maxwelli felfogás fontossága mellett. Mindezek alapján legalább is talányos az az anekdota, ami Fröhlich konzervativizmusának jellemzésére majd száz éve él a bennfentes fizikusi köztudatban. A Marx György szerinti (legerősebb) változatban: „Amikor az 1920-as években Arnold Sommerfeld Pestre látogatott, Heisenbergre gondolva ezt kérdezte Fröhlich-től: *És Professzor Úr mit szól ezekhez az új elméletekhez?* Fröhlich határozottan válaszolt: *Biztos vagyok benne, hogy Maxwellnek nincs igaza.*”<sup>41</sup> A szelídebb változat szerint csak csupán a Maxwell elmélet bizonyítottságában lett volna bizonytalan Fröhlich, de még ez sem következik harminc évvel korábbi előadásának szelleméből.

## FIZIKA A JÓZSEF MŰEGYETEMEN

**Sztoczek József, id. Szily Kálmán, Schuller Alajos,  
Wittmann Ferenc, Zemplén Győző, Réthy Mór**

A Magyar Királyi Tudományegyetemen könnyű megtalálni a két fizika tanszéket, ahol a Maxwell-elmélet hatása vizsgálható.<sup>42</sup>

Az 1871 őszen megnyílt királyi József Műegyetem első rektora a fizikus **Sztoczek József** lett. Ahhoz azonban, hogy 1864-től kiismerhessük magunkat a Műegyetem és az elektromágnesség kapcsolatában, foglalkozni kell a távolabbi múlt történéseivel is. Figyelmen kívül hagyva a tisztelet-

<sup>41</sup> Vö.: Marx György: Szubjektív fizikatörténet. = Fizikai Szemle 40 (1990) No. 7. p. 94. skk.

<sup>42</sup> Az 1903-ban alakult Gyakorlati fizika tanszék az általunk vizsgált időszakból kiesik, noha a tanszéket vezető Klupathy Jenő munkássága már a századforduló előtt is figyelemreméltó az elektromágnesség terén. Könyve – Kiegészítő jegyzetek a delejesség és villamosság tanához. 2. kiad. Bp., 1891. Litograf. 219 p. – egyike a leghasználhatóbbnak.

reméltó ős, az *Institutum Geometrico-Hyrotechnicum* történetét, a reformkor minden iparfejlesztő erőfeszítése ellenére 1846-ban még csak egy középfokú tanintézet, a József Ipartanoda jött létre. Az Ipartanoda első fizikatanára Sztoczek József volt.

Sztoczek teológiai tanulmányait abbahagyva került 1840-ben a Mérnöki Intézet hallgatói közé. 1845-ben már pályázott a Könyvteltani tanszék elnyeréséért, de sikertelenül. Egy évvel később a Fizika tanszék megismételt versenyvizsgáját már ő nyerte el. Fizikával komolyabban csak ezután kezdett foglalkozni, de mai értelemben vett szaktudóssá soha nem lett. Foglalkozott elektrosztatikus jelenségekkel és színeképelemzéssel is, de inkább olyan kérdések érdekelték, mint *A meleg forrásvizek lehűlése földalatti csatornáknak vagy a kísérletileg meghatározott óra- és emberkénti levegőjutalék* praktikus kérdése. A korszak eszményeit kifejező természettudományi Társulatnak 1865-től 1872-ig elnöke, 1885-től a főrendiház tagja.

1857-ben az Ipartanodát József Polytechnikum néven felsőfokú mérnök-képzővé alakították. 1861-től a tanítás nyelve a magyar lett, az igazgató pedig Sztoczek. A Polytechnikum egy előkészítő és egy egységes műtani osztályból állt. Az előkészítő osztályban a hallgatók *kísérleti természettant* tanultak, *kapcsolatban a vegytan elemeivel*, a műtani osztályban Sztoczek Józseftől *általános természettant* és *ipari természettant*.

A fennmaradt feljegyzések szerint az *általános természettan* „Tartalmazza a testek általános tulajdonainak, a természeti erők működésének rendszeres magyarázatát, kapcsolatban a szükséges kísérletekkel és bizonylatokkal”.

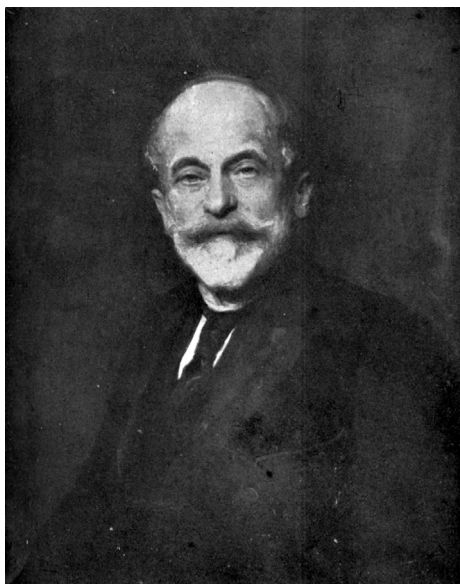
Az *ipari természettan* „Alkalmazása a technikai tételeknek az ipar különböző ágaira, főleg kiemelve a súlytalanoknak, jelesül a melegnek hatását és használatát az iparüzletben”.

A kísérleti természettant Sztoczek fiatal tanársegéde, *id. Szily Kálmán* tanította.

*id. Szily Kálmán* (1838–1924) fizikus, nyelvész, tudományszervező, műegyetemi tanár, akadémikus. 1889 és 1905 között az akadémia főtitkára. A Természettudományi Társulat főtitkáraként 1869-ben megalapította, és évekig szerkesztette a *Természettudományi Közöny*-t. Nyelvészeti munkássága a XIX. század kilencvenes éveitől bontakozott ki. 1904-ben megalapította a Magyar Nyelvtudományi Társulatot, melynek elnöke, folyóiratának, a Magyar Nyelvnek pedig szerkesztője volt.

Akadémiai székfoglaló értekezésében *a hőelmélet első és második alaptételének általános matematikai alakban való megfogalmazására* vállalkozott. Eredményére sokáig a második főtétele Clausius–Szily-féle megfogalma-





Id. Szily Kálmán

zásaként hivatkoztak. 1869–70-ben a *Kísérleti természettan* tanszéket, 1870-től nyugdíjazásáig a *Matematikai fizika és analitikai mechanika* tanszéket vezette. Sztoczekhez hasonlóan id. Szily Kálmán is jeles közéleti ember volt, a Műegyetemnek több ízben dékánja, rektora. (Nevében az id. előtag azért fontos, mert Kálmán nevű fia a Műegyetemen a mechanika professzora volt 1913-tól, majd rektor, sőt a harmincas években államtitkár.)

Id. Szily *'Kísérleti természettan'* c. könyvéből a korszakra jellemző bölcséleti szellem árad: *Mindazon változást, melyeket a testeken észreveszünk, tüneménynek, vagy jelenségnek nevezünk; ez magában foglalja a változást és a szemlélést, úgy hogy ha*

*ezek egyike hiányzik, az mindjárt nem lehet tünemény, mert ha a változás külső szemlélő nélkül történik, úgy az reánk nézve, mint tünemény elő nem jöhet.*

Eötvös József a kiegészítés kormányának tagjaként beterjesztett javaslata szerint a Műegyetem az ország állami egyetemeivel egyenlő rangú tudományos intézet lenne. Ferenc József 1871. július 10-én hagyta jóvá a József Műegyetem új szervezeti szabályzatát, amely szerint a mérnöki, gépészmérnöki, építészeti és vegyészi szakosztályokat megelőzi egy kétéves egyetemes szakosztály, ahol az érettségizett diákok természettudományi és egyéb általános tárgyakat hallgatnak.

A Műegyetemnek ekkor már három fizika tanszéke volt: az Általános természettan tanszék 1867-ben a Sztoczek vezette Technikai természettan és az 1869-től Szily vezette Kísérleti természettan tanszékre bomlott, de egy évvel később Szily az akkor alapított Matematikai fizika és Analitika mechanika tanszéket vette át, miközben a Kísérleti természettan tanszékre két évre helyettesként Müller József kapott kinevezést. A Kísérleti természettan élére 1872-től **Schuller Alajos** került.

Schuller Alajos (1845–1920) fizikus, műegyetemi tanár, az MTA tagja. 1863-ban a Műegyetem mérnöki tanfolyamán kezdte felsőbb tanulmányait. 1871-ben a heidelbergi egyetemre ment, ahol Kirchhoff és Bunsen tanítványa, egy évig Kirchhoff tanársegéde volt. Különös érdeme a laboratóriumi oktatás színvonalának emelése. Tökéletesítette a Bunsen-féle jégkalorimétert, nagy határfokú higanyos légszivattyút szerkesztett. 1916-ban vonult nyugalomba. – Főbb munkái: *Kísérleti fizika* (Bp., 1897); *Chemiai physica* (Szeged, 1905).

Tangl Károly így emlékezett vissza elődjére: *Mikor a fizikai tanszéket átvette, annak felszerelése bizony gyenge volt, hogy a mai magaslatra emelkedett az elsősorban Schuller Alajos műve. A laboratóriumi munka volt legnagyobb gyönyörűsége, mely annyira betöltötte életét, hogy más örömet alig kerekített...Megható volt, milyen szeretettel kezelt minden eszközt, melyek jórészt saját kezeivel készítette, a miben ritka kezűgyessége nagy segítségére volt. Nem szerette a vásárolt eszközöket, mert ritkán talált olyat, ami kielégítette volna, alig van eszköz fizikai szertárában, melyre egyéni bélyegét valami átalakítás formájában reá ne ütötte volna. Megvolt az egyéni vonása minden előadási kísérletének is, melyek közül éppen ezért a legszeszélyesebbek is sikerültek.*

Az alapozó képzést végző egyetemes szakosztály kísérleti természettanra a szokásos mechanikát, hőtant, fénytant, valamint a delezesség és a vilámlosság tanát foglalta magába. Az ugyancsak az alapozásban szereplő elméleti természettan – 1875-től analitikai mechanika – a mai követelményeknek is megfelelően felépített tantárgy volt; és ha valaki többet akart hallani, Szilynél féléves kurzuson vehetett részt „Végigtekintés a természettan az erély megmaradása szempontjából” címen.

A hároméves technikai szakosztályok számára különféle műszaki természettan tárgyakat hirdettek meg a fizika tanszékek. Ennek a műszaki természettannak a hőtani alapfogalmak és a mechanikai hőelmélet alapelvei, valamint a fűtéssel és szellőzéssel kapcsolatos gyakorlati problémák álltak a középpontjában, valamennyi optikával és elektromagnetizmussal övezve. A *chemiai természettan* barometricus méréseket, súly- és fajmeleg-méréseket tartalmazott, polarisatiót és sacchimetriát, valamint távcsövek és görccsövek szerkezetének leírását.

1882-ben a Műegyetem az új, Múzeum-körúti épületeiben kezdhette az őszi tanévet. A következő 25 évben itt, valamint az Esterházy utcai épületben húzta meg magát a mérnökök iránti kereslettel együtt növekvő egyetem, amíg az 1900-as évek elején fokozatosan elkészülő épületekbe, mai helyére költözhetett a budai Duna-parton. A Múzeum körúton maradt épületeket a Tudományegyetem kapta meg.

Az új épületbe költözés reformokkal járt együtt, egyebek közt a tan szabadság megszűnésével, kötött tanterv előírásával. Szervezeti változásként megszűnt az egyetemes szakosztály előkészítő szerepe, közvetlenül a megfelelő szakosztályba kellett beiratkozni. Az egyetemes szakosztály fokozatos elhalásával a képzési idő négy évre csökkent.

Ugyancsak 1882-ben a műszaki természettan felvette a technikai fizika nevet. Tartalmában a legfontosabb változást az elektromágnesség nagyobb súlyú szerepeltetése jelentette. Ide tartozott ekkor a villámhárítók, a dynamoelektromos gépek, az elektromos világítás és a telegráf berendezéseinek ismertetése, de szerepelt a tekercs mágneses nyomatékának vizsgálata, valamint a telefon és mikrofón működésének alapjai. Sztoczek fiatal tanársegédével, Wittmann Ferencsel ekkor indított külön kurzust „Elektromosság és mágnesség elektrotechnikusok számára” címmel.



Wittmann Ferenc

1890-ben meghalt Sztoczek József. Az akkor 30 éves tanársegédének, **Wittmann Ferencnek** két évet kellett várnia, amíg rendkívüli tanárnként kinevezést kaphatott a Technikai fizika tanszékre.

Wittmann Ferenc (1860–1932) fizikus, műegyetemi tanár, az MTA I. tagja (1908). Főiskolai tanulmányait a budapesti Tudományegyetemen és a Műegyetemen végezte. 1878-ban a Műegyetem kísérleti fizika tanszékén tanársegéd, 1892-ben a technikai fizika rendkívüli., 1895-ben rendes tanára. 1919-ben a budapesti Tanárképző Intézet igazgató helyettese. Úttörőek a váltakozó áramok időbeni lefolyására vonatkozó kutatásai. A róla elnevezett oszcilloszkóp feltalálója. Behatóan foglalkozott a rádiótechnika kérdéseivel is.

1890-ben nyugdíjba vonult id. Szily Kálmán – de csak a fizikától kö-

szönt el, hiszen még több mint 30 évig nyelvészkedett, szervezett és szerkesztett folyóiratokat, kikerülhetetlen személyisége volt a századforduló kultúrpolitikájának. Tanársegéde azonban nem volt, akinek átadhatta volna a tanszékét. Végül a Műegyetem Geometria tanszékéről Réthy Mór került az Analitikai mechanika élére. A tanszéknek mind több gyakorlatias igényt kellett kielégítenie, amely folyamat során elsőként az Alkalmazott Szilárdságtan tanszék jött létre 1895-ben. Idővel az Analitikai mechanika és Matematikai fizika feloldódott a szakosztályok műszaki mechanika típusú tanszékeiben, és a fizika tanszékekhez tartozására mind kevesebben emlékeztek.

A Schuller vezette Kísérleti fizika és Wittmann Technikai fizika tanszéke a következő negyedszázadban annyi változást éltek meg, hogy 1906-ban beköltözhettek a budafoki úti Fizika (F) épületbe. A két tanszék kialakított egy közös tárgyat kísérleti és technikai fizika néven, amelyet az építés- és gépészmérnököknek Wittmann, az általános mérnököknek és vegyészeknek Schuller adott elő. A szakosztályok igényeit mindketten igyekeztek kielégíteni, ezért ennek a közös nevű tantárgynak bármely változata alkalmazott fizika volt. Az új felfedezések ismertetésében egyébként is napra kész Wittmann külön tárgybán tanította *Az elektrotechnika fizikai alapelveit*. A vegyészhallgatóknak pedig Schuller tanított *chemiai fizikát* heti 14–18 órában. Az óraszámából is láthatóan a tárgy elsősorban méréseket tartalmazott.

A Műegyetem számára fontos esemény volt a doktori cím odaítélésének joga 1901-től. A doktori szigorlatok melléktárgyaként minden szakosztály megjelölte a kísérleti-, a technikai- vagy a kémiai fizikát.

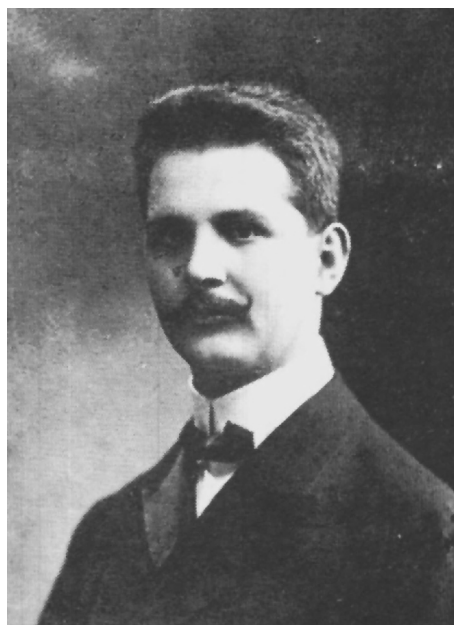
A következő esemény, amely a fizika műegyetemi helyzetének megerősítését szolgálta, az elméleti fizika tanszék létesítése volt 1912-ben. Ebben az esetben nem egy tanszék keresett magának professzort, hanem a kiemelkedően tehetséges *Zemplén Győző* számára létesült a tanszék. Elég néhány oldalt olvasni Zemplén valamelyik írásából, és nyilvánvaló lesz, hogy nem mindennapi tudós munkájára bukkantunk. Sajnos az a néhány év, amíg dolgozhatott kevés volt egy tudományos iskola kialakításához.

Zemplén Győző (1879–1916) Az elméleti fizika professzora, a folyadékok és az elektromos erőter mozgásának neves kutatója, a lökéshullámokra vonatkozó, névét viselő Zemplén-tétel megfogalmazója. Egyetemi tanulmányait Budapesten, Göttingenben és Párizsban folytatta. Eötvös Loránd tanársegédje volt. 1908-ban a MTA levelező tagjává választotta. 1912-ben a budapesti Műegyetemen az elméleti fizika tanárává nevezték ki. Az elektromosságról, a radioaktivitásról és a gázok belső súrlódásáról írt könyvei díjakat nyertek. 1916-ban az olasz fronton hősi halált halt.

1916-ban Zemplén halálával betöltetlen maradt, gyakorlatilag megszűnt az Elméleti Fizika tanszék. Ugyanebben az évben Schuller Alajos is nyugalomba vonult, és a tanszék élére Tangl Károly került. Tangl ugyan csak öt háborútól és következményeitől zaklatott évet töltött a tanszék élén, de ezzel is új stílust teremtett, amely a tudományos kutatást helyezte előtérbe.

Amennyiben a rendkívüli teljesítménytől eltekintünk, a műegyetemi fizika meglehetősen hasonló szerepet tölt be a világ bármely pontján. Lévéen a mérnöki munka jelentős része valamilyen alkalmazott természettan, azaz a fizikának ilyen-olyan fejezete a közvetlen felhasználhatóság érdekében kidolgozva, a fizika tantárgy feladata, hogy a műszaki tárgyak megértését előkészítse, az általános összefüggésekre és kapcsolatokra felhívja a figyelmet. A felejtendő tudomány, abban az értelemben, hogy igen gyakran a szaktárgyi előadás azzal

*Zemplén Győző*



kezdődik, hogy „amit a (mechanikáról, akusztikáról...) a fizikában tanultak, azt felejtsek el!” Ha valóban cél a fizika felejtése, akkor baj van, mert jönnek az empirikus formulák az értelmezés igénye nélkül. Akkor az lesz, amiről Kármán Tódor ír önéletrajzában:

*„A József Műegyetem egykor ipartanoda volt Pesten, melyet királyi támogatói addig istápoltak, mígnem Magyarország egyetlen műszaki egyeteme vált belőle. Az iskola több területen kínált tudományos színvonalú oktatást, de akárcsak számos más európai műszaki iskola, ez is kereskedelmi akadémiái múltjának örökségétől szenvedett. Az olyan szokásos tárgyakat, mint a hidraulikát, az elektromosságot, a gőzgépeket vagy a szerkezetant ugyanúgy oktaták, mintha kenyérsütésre vagy a kárpitosságra készítették volna fel hallgatóikat, mit sem törődve azzal, hogy a tudományok alapjául szolgáló természeti törvényeket kellene megértetniük.*

*Az oktatóknak se szeme, se füle nem volt az elmélethez. Emlékszem például, hogy az elméleti és alkalmazott mechanika professzora magas gallérú, megnyerő öregúr volt, aki az akkor a mérnökök Mekkájának számító zürichi egyetem egy kurzusán felszedett egyenleteket adta tovább nekünk. Egyszer előadás közben felírt a táblára egy hosszú egyenletet. Összehasonlította feljegyzéseivel, aztán tanácstalanul megvakarta a fejét: »Nem tudom, hogy ez a szimbólum itt 2 vagy  $z$  – dünnögte –, de az egyenlet helyes.«<sup>43</sup>*

Kármán úgy emlékszik a továbbiakban, hogy nem volt ez általános, hogy a „Felejtsek el!” felszólítás csak arra vonatkozott, hogy más jelöléseket, mértékrendszeret kell megszokni, és a fizika, a természettan éteri világa után a mérnöki praxis hasznos formulái következnek. És mert „nem az énekes szüli a dalt: a dal szüli énekesét” – az oktatott tárgynak megfelelően alakultak az oktatók. Mindenesetre igyekeztek olyan könyveket, jegyzeteket írni, olyan tárgyprogramokat kidolgozni, amilyeneket a szakosztályok elvártak. Ennek megfelelően a századfordulóig megjelent tankönyvek, litografált jegyzetek nem szerepeltették a maxwelli elektrodinamikát, amihez a hallgatóság sem matematikai ismeretekkel nem rendelkezett, sem a térjellemzők közötti összefüggések bonyodalmaival nem igényelték a közvetlenül alkalmazható képletek helyett. Így azután a századfordulóig a műegyetemi fizika oktatásba Maxwell neve a Hertz kísérletek lábjegyzetként került be.

\*

Wittmann Ferenc *'Elektromosság és mágnesség'* című litografált jegyzete a kor szokásainak megfelelően elsősorban a pontos műszerleírással jellemezhető. A gyakorlati felhasználhatóság címén az elektrosztatikáról ke-

<sup>43</sup> Lee Edson: *Örvények és repülők. Kármán Tódor élete és munkássága.* Bp., 1994. Akadémiai Kiadó. p. 22.



vés szó esik, a fontosabb fogalmak, még a potenciálé is, a rúdágnesek taglalása során kerülnek elő. Szóba kerül a patkómágnes által kifejtett erő számítása, a telítési mágnesezés empirikus adatai, majd a wattmérő működésének elemzése.

Wittmann látványos kísérleteit, *a nagy feszültségű és nagy szaporaságú váltakozó áramok hatásait* 1893. január 5-én bemutatta a Matematikai és Fizikai Társulatban is. A 'Természettudományi Közlöny' beszámolója szerint „...Ezután egy Ruhmkorff-féle hatalmas szikrainduktor elsődleges tekercsére egy váltóáramú dinamónak mintegy 100 volt feszültségű és percenként mintegy 5000-szer váltakozó áramát vezette: ekkor az a rendkívül érdekes és meglepő jelenség létesül, hogy a másodlagos tekercs vezetékébe iktatott kisütő sarkai között mintegy 20,000 voltra becsült kiáramlás magasan felcsapó lángokkal megy végbe.”<sup>44</sup> A lángokra és izgalomra még a szakmai közönség előtt is szükség volt, hogy a bevezetőben elhangzott Faraday-féle közelhatás eszméjére indokolt legyen felfigyelni.

A nehezen elérhető magyar nyelvű tankönyvek mögött ebben az időben az évente kiadott Kohlrausch-ok álltak, azok voltak hozzáférhetőek, azok alapján le lehetett vizsgálni. A *'Leitfaden der Praktischen Physik'* mérési módszerek és műszerek leírása. A *'Lehrbuch der Praktischen Physik'* évente kiadott köteteinek végeláthatatlan sorában a kilencvenes években esik szó először a Hertz-féle hullámokról. Megtalálható a mérési módszer, az állóhullámok csomópont távolsága alapján megmérhető terjedési sebesség. Elméleti magyarázatok nélküli leírásokról van szó, a gyakorlati fizika hogyanjaira ad választ, kevés szó esik a miértekről. Adott esetben ennek is volt haszna, mert ami megvalósítható volt, azt Schuller megcsinálta, és egy sikeres demonstráció az érdeklődés felkeltésének legjobb módja volt már akkor is.

Schuller természetesen tisztában volt a Maxwell-elmélettel, de a széles körben megérthető magyarázattal adós maradt. 1896-ban a 'Természettudományi Közlöny'-ben egy olvasói kérdésre ezt válaszolja: „A fény több tekintetben kapcsolatos az elektromossággal; így a törési együttható kapcsolatban van az elektrosztatikai kapacitással, továbbá a polárosság síkja elfordul mágneses térben és a fénytűnemények nagy része éppen oly jól kimagyarázható elektromos rezgésekből, mint a rugalmasságból. Itt is, mint mindenütt, szoros kapcsolat mutatkozik a természet különböző jelenségei közt, ami abból magyarázható, hogy ugyanazon anyagi részekről származnak.”<sup>45</sup>

Az elmélet maradhatott volna a Műegyetemen is az elméleti fizikára, ám a válaszott elnevezések szerint a *Matematikai fizika és analitikai mechanika* tárgyból *Analitikai mechanika* lett. Szily ennek ellenére rendsze-

<sup>44</sup> Wittmann Ferencz ismertette és bemutatta a nagy feszültségű és nagy szaporaságú váltakozó áramok hatásait. = Természettudományi Közlöny 25 (1893) pp. 207–208.

<sup>45</sup> Schuller [Alajos]: A fény... = Természettudományi Közlöny 28 (1896) p. 606.

resen adott áttekintést a fizika egészéről, ámde szigorúan az energia megmaradás, a termodinamika szempontjából. A Maxwell elmélettel kapcsolatban 1888-ban még a kérdőjelre helyezte a hangsúlyt: „...az elektromosság és a fény tárgyi okait egy eddig még ismeretlen azonosságból kell kimagyarázni. E feltevésre alapítja Maxwell a fény elektromágnesi elméletét, midőn felteszi, hogy az elektromosságot nem vezető közegekben az elektromágnesi háborítás (electromagnetic disturbance) ép azon törvény szerint terjed tova, mint a fény ugyanabban a közegben. Ide vonatkozó vizsgálatait Maxwell 'A Treatise on Electricity and Magnetism' című nagy munkájában (Oxford, 1873) tette közzé. A mai fizika egyik legérdekesebb, legaktuálisabb kérdése, vajjon megállhat-e, és minő módosításokkal, a Maxwell-féle elektromágnesi fényelmélet?”<sup>46</sup>

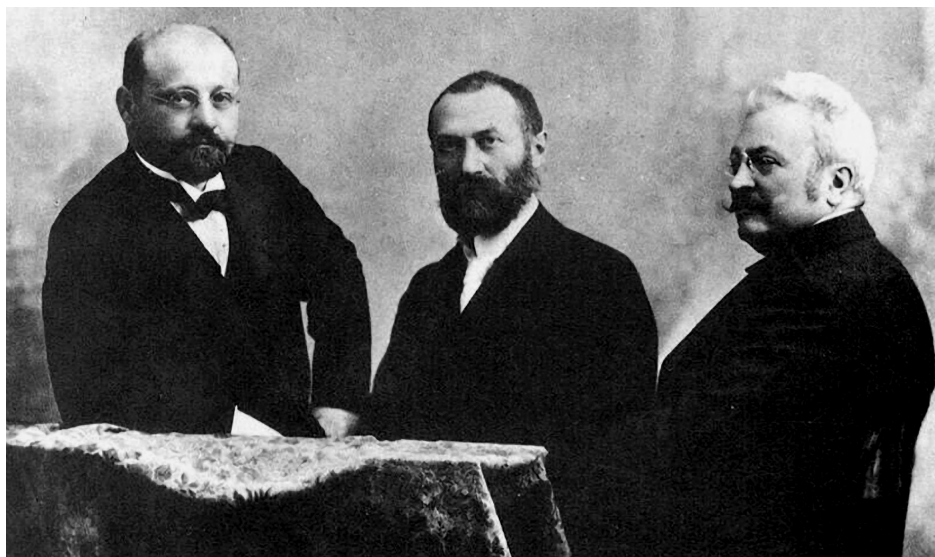
Szilyt az Analytikai mechanika tanszéken követő Réthy Mór ugyan elsősorban matematikus volt, ám innen, a matematikából kiindulva figyelte a fizika alakulását. A Matematikai és Fizikai Társulat 1892. április 21-i ülésén tartott előadásában Hertz méltatásán keresztül Maxwell neve is felmerült: „...Maxwell, az egyenletek oly rendszerét állítván fel, mely a nevezett egész tüneménycsoport törvényeit magában foglalja. Előadó ezután tüzetesen megismertette Hertz német fizikus differenciál-egyenleteit, melyeknek az a jó oldaluk van, hogy bennök csupa olyan mekkoróság fordul elő, a melyek a Maxwell-félékkel szemben megfigyelés útján is meghatározhatók. Végre megmutatta, hogy miként adódnak ki ez egyenletekből a Coulomb-féle alaptörvények, a Kirchhoff-féle áramtörvények stb., nemkülönben, hogy miként foglalják magukban és pedig észleletek útján is igazolható következmények révén, a fényelmélet differenciál-egyenleteit, miből kitűnik, hogy a fény az elektromos vagy mágneses erők hullámozására vezethető vissza.”<sup>47</sup>

### Elektrotechnika – Ganz-gyár

A századvégtől a Műegyetemen az elektromágneses jelenségek tanításáért nem egyedül a fizika tanszékek a felelősek, hiszen létesült egy Elektrotechnika tanszék Zipernowsky Károly vezetésével. Az előadott tárgy, a Dynamogépek, a gyakorlat számára megbízható gépek tervezésébe vezetett be elméleti és gyakorlati foglalkozások során, ám az elmélet itt a leírásokat jelentette, azaz nem ment tovább a hogyannál a miért felé. A lényeges Zipernowsky megjelenése a Műegyetemen, hiszen ő a zárt vasma-

<sup>46</sup> Szily Kálmán, id.: A fénysebesség jelentése az elektrodinamikában. = Természettudományi Közlöny 20 (1888) Pótfüz. No. 2. p. 81.

<sup>47</sup> Réthy Mór: A gravitáció, az elektromosság, a mágnesség és a fény elméletének közös alapon való tárgyalásáról. [Kivonat.] = Természettudományi Közlöny 24 (1892) p. 266.



*A Déri–Bláthy–Zipernowsky feltalálóhármás*

gos transzformátor társ-feltalálóit, Bláthy Ottó Tituszt és Déri Miksát is képviselte, egyúttal a rohamosan fejlődő magyar erősáramú ipart.

A Ganz Villamossági Művek Európa élvonalába verekedhette magát anélkül, hogy ehhez szüksége lett volna a Maxwell-elmélet egészére. Ugyanez mondható el a Bláthy–Déri–Zipernowsky hármas alapvető szabadalmáról, amely az *„Ujtások az inductiós készülékeken, Villamos áramoknak transzformálása céljából”* címet viselte. Itt azonban legalább olyan körültekintően kell fogalmazni, ahogy Simonyi Károly tette a Bláthyék transzformátorához vezető út elemzésénél. *„Az indukció jelenségének felfedezése (Faraday, 1831) után világszerte megindult kísérletsorozatokban általában az egyenáram ki- és bekapcsolásánál fellépő jelenségeket vizsgálták, ahol is rendszerint nyitott vasmagra felcsévéltek tekercseket használtak. Az egyenáram használata érthető: kezdetben ez állt rendelkezésre. De amikor váltóárammal kezdtek kísérletezni, a nyitott vasmagot akkor is megtartották. A döntő érvük: a nyitott vasmag két végén fellépő pólusok játsszák a döntő szerepet a jelenségekben. Pólus nélküli vasmagon, tehát zárt vasmagon nem figyelhetnénk meg, vagy csak igen csekély mértékben az indukciós jelenségeket. Emlékezzünk vissza – így érvelhettek –, hogy az áram mágneses hatását mágnesűvel, tehát egy észak–dél pólussal ellátott szerkezettel fedezték fel és segítségével állítottak fel kvantitatív összefüggéseket. Ennek felel meg a véges vasmagra tekercselt, áram által átjárt huzal. Egyébként arra is hivatkoztak, hogy ha egy zárt vasmagon légrés van, az egyenáramú gerjesztést megszakítva intenzívebb szikrát tudnak létrehozni. Ez igaz, ennek azonban egyszerű a magyarázata: a mágneses tér energiasűrűsége  $HB/2 = B^2/(2\mu) = B^2/2\mu_0\mu_r$ , vagyis azonos indukció (B) ér-*

ték mellett a levegőben felhalmozott energiasűrűség  $\mu_r:1$  arányban nagyobb mint a vastestben.”<sup>48</sup>

A Bláthy–Déri–Zipernowsky-féle zárt vasmagos transzformátor és az ezen alapuló elektromos hálózat a Faraday és Maxwell által megalapozott közelhatás felfogás alapján született. A teljes Maxwell-elmélet továbbra is a fizika felségterülete maradt. Az elméletet az elvárható lelkesedéssel és kellő szakavatottsággal kezelő fizikus a Műegyetemen a XX. századig váratott magára. A fiatal Zemplén Győző meggyőző magabiztossággal alkalmazta a maxwelli matematikai apparátust, noha nem tartozott saját kutatási területéhez. Ez azonban már egy másik történet, Maxwell halála után közel 30 évvel, amikor már a speciális relativitás elmélete rendezte táborokba a fizikusokat.

A XIX. század két utolsó évtizede a budapesti Műegyetemen is csak a Hertz kísérletek révén jutott a maxwelli tanokhoz, amit többnyire Hertz eredményeként könyvelt el. Pedig a század nyolcvanas éveiben a villamos ipar eredményessége alapján akár villamosmérnöki kar is alakulhatott volna, ahogy ez 1886-ban megvalósult a Missouri Egyetemen. Hogy Budapesten miért nem? Talán mert Mechwart András, a Ganz gyár vezérigazgatója úgy gondolta, hogy jó szakember speciális képzés nélkül is akad majd. Ami igazán furcsa, az az, hogy villamosmérnöki kar csak 1949-ben szerveződött a budapesti Műegyetemen. Ez a hiány késztette arra két év pesti gépészkari tanulás után Gábor Dénest, hogy a semmivel sem jobb berlini Műegyetemen szerezzen diplomát, mert ott villamosmérnök lehetett. Gábor a Nobel díj előtt és után is fizikus feltalálóként határozta meg magát, csak hát egyetemi évei idején fizikusi munkakörök voltak, de diplomás fizikusok még nem. A fizikához leginkább közel álló pálya a villamosmérnöki volt, éppen a maxwelli elmélet kibontásának hatalmas lehetőségei révén. A huszadik századi fizika új területeket hódított meg, miközben a XIX. század örökségének feldolgozásával adós maradt. Nem véletlen, hogy a századelő fizikáját kiválóan ismerő Gábor Dénes kifejlesztette a plazmalámpát, számos elemében kidolgozta az elektronmikroszkópot, majd a hullámoptika alapos ismeretében megalkotta a holográfiát. Általában is a maxwelli elektrodinamika és optika kibontása, a benne rejlő korszakos műszaki alkotások megvalósítása jellemzően a villamosmérnökökre maradt. De ez a huszadik század – a 19-ikben csak elvétve akadtak villamosmérnökök, hiszen a kialakuló erősáramú ipar tervezését kiválóan ellátták a gépészmérnökök (Bláthy, Kandó és Zipernowsky is gépészmérnökként végeztek, Déri Miksának pedig elég volt az érdeklődés az elektromos jelenségek iránt, vízépítő mérnöki diplomájával

<sup>48</sup> Vö.: Simonyi Károly: A magyarországi fizika kultúrtörténete. XIX. század. Vázlat. = Természet Világa 2001. évi 1. különszáma. 100 p.

a magyar villamos ipar legtermékenyebb feltalálója lett.) Mindez megvalósulhatott empirikus formulák segítségével, bár Bláthyék nem nélkülözhettek a Faraday-féle közelhatás elképzelést. A Maxwell elmélet teljessége egyre inkább a mérnöki műveltség része lett, de a napi munka eszközévé nem vált.

## FIZIKA A KOLOZSVÁRI TUDOMÁNYEGYETEMEN

Milyen kapcsolatba került a Maxwell-teóriával a legfiatalabb magyar egyetem, a kolozsvári? Itt a kísérleti fizikát a kezdetektől harminc éven át Abt Antal tanította. Radnai Gyula szerint: *„Abt Antal Kolozsváron ugyanabban a szellemben tanította a kísérleti természettant évtizedeken át, mint Jedlik Pesten... Több kísérleti fizika tankönyvet írt... Ritka ügyes kísérletezőnek tartották, demonstrációval gazdagon kísért előadásai népszerűek voltak. Tankönyvként Kohlrausch 'Gyakorlati fizika' című könyvét használták, melyet ő fordított magyarra. Igyekezett bekapcsolódni az Európában aktuális kutatásokba, főleg az elektromos vezetés érdekesebb kérdéseit vizsgálta...”*<sup>49</sup>

Jelentős, nemzetközileg számon tartott eredményeket a különböző acélnemek és ásványok mágneses viselkedésének vizsgálata és a földmágnességi mérések terén ért el. A Maxwell elméletéhez annyi köze volt, hogy korszerű kísérleti feltételeket teremtett tanársegéde, Pfeiffer Péter számára.

Pfeiffer 1884-től volt Abt tanársegéde, a nyilvános rendkívüli tanári kinevezéshez húsz évvel később jutott, önálló tanszékre pedig további 13 évet kellett várnia. De ez a tanszék már a *Gyakorlati fizika és elektrotechnika* nevet viselte, Pfeiffer munkásságának megfelelően. 1896-ban ő is részt vett a röntgensugarak szinte azonnali bemutatásában, de a továbbiakban az elektromágneses hullámok tulajdonságai adták kutatásai gerincét. Ez derül ki legfontosabb dolgozatainak, könyveinek címéből is: *'Új módszer elektromos dispersio és absorptio mérésére dróthullámokkal'* (Kolozsvár, 1901); *'A váltakozó áramok és elektromos hullámok kísérleti tana'* (Kolozsvár, 1903., új kiadás: Kolozsvár, 1914). Amíg tehette, eredményesen dolgozott együtt Zemplén Győzővel – ilyen hatásos elméleti segítség-re 1916 után nem számíthatott.

<sup>49</sup> Radnai Gyula: Az Eötvös-korszak. In: Kovács László (szerk.): Fejezetek a magyar fizika elmúlt 100 esztendejéből (1891–1991). Bp., 1992. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. p. 10.



## Réthy Mór és Farkas Gyula elméleti fizikusok



Farkas Gyula

Az elméleti fizikának kiváló professzorai voltak Kolozsváron is, de közvetlen érdeklődési körükhöz nem tartoztak az elektromágneses hullámok. Réthy Mór – a Mennyiségtani fizika tanszékének professzora 1876 és 1884 között – a matematika és a mechanika területén dolgozott, ám mint diszciplínájában széles áttekintéssel rendelkező tudós világosan látta a maxwelli tanok jelentőségét. Erre mutattak rá műegyetemi professzorként írt beszámolójának már idézett sorai.

A kolozsvári egyetemen a matematikai fizika meghatározó alakja 1887-től Farkas Gyula volt, aki megromlott látása miatt 1915-ben nyugdíjba ment, de még további 15 évig maradt a legnagyobb tekintély a hazai elméleti fizikában. Legje-

lentősebb eredményeit matematikában, illetve a termodinamika megala-  
pozásában érte el, de mindent tudott, amit véleménye szerint egyetemi  
előadásában szóba kellett hoznia. Nemcsak tanította a Faraday–Max-  
well-féle elektrodinamikát, hanem a távlatnak megfelelő kritikát is mellé-  
kelte. 1907-ből származó jegyzetében megállapította, hogy „*Maxwell ma-  
tematikai megfogalmazásában... oly utakat követett, és felfogását olyan rend-  
szerben tette közzé... amelyek félreértésekre vezettek*”.<sup>50</sup> Farkas szerint a  
Maxwell-elméletet „...csak formálisan lehet távolhatásokra alapítani, azaz  
puszta matematikai külsőségek szerint, ámde physikai tartalma a távolhatá-  
sok tagadására vezet.”<sup>51</sup> Jellemzően néhány oldallal később már a nem  
egészen két éves relativitáselmétről olvashatunk: „...*elentékeny fontosság  
tulajdonítandó annak, hogy Einstein egy új időfogalomnak, a Lorentztől le-  
vezetett lokális idő fogalmának, mint tulajdonképpen való időfogalomnak...  
az elfogadását javasolta*”.<sup>52</sup>

<sup>50</sup> Vö.: Farkas Gyula 1907-es litografizált jegyzete.

<sup>51</sup> Uo.

<sup>52</sup> Uo.



## Károly Ireneus József és az elektromágneses hullámok tana

Sokat tett az új fizikai eredmények megismertetéséért a kolozsvári egyetem magántanára, Károly Irén, azaz Károly Ireneus József. 'A Holnap városá'-ban Dutka Ákos a következőket írja: „Mint diákok szem és fültanúi voltunk, amikor a főgimnázium szertárából morzejeleket adott le drót nélkül a peceszentmártoni rendházba, tíz kilométernyire a várostól. Pedig akkor Marconinak még a hírét sem hallottuk.”<sup>53</sup>

A Magyar Életrajzi Lexikon óvatosabban fogalmaz, de nem cáfolja meg Dutka Ákóst: „Károly Irén József (Gönc, 1854. márc. 6. – Bp., 1929. márc. 13.): tanár, fizikus, a rádiótechnika egyik magyar úttörője, premontrei szerzetes. 1881-től Nagyváradon tanított. Az elektromágneses

hullámok vizsgálatához akkoriban használt kohérert tökéletesítette és működését több dolgozatában elemezte. Valószínű, hogy Marconi előtt ismerte a drótnélküli távítás elvét, s 1895-től sikeres kísérleteket végzett a drótnélküli távíróval. 1896-ban néhány hónappal a röntgensugarak felfedezése után Nagyváradon felállította az ország első orvosi és tudományos vizsgálatokra alkalmas röntgenlaboratóriumát. 1916-ban alapítványt tett fizikai tanulóversenyekre, melyet róla neveztek el.”<sup>54</sup>

A Jedliknél fél évszázaddal fiatalabb Károly Ireneus ugyancsak képes volt belefeledkezni a kísérletezésbe, nem gondolva a világhír megszerzésére. Az országon belül ismert volt sokoldalúságáról, jól sikerült röntgensugaras bemutatóiról, az elektromágneses hullámok keltése és vétele azonban nagyváradi hír maradt. A Nagyváradon megjelenő 'Tiszántúl' c. napilap 1895. évi április 25-i számában Agliardi bíboros premontrei gimnáziumba tett látogatásáról számolt be: „...Agliardi pápai követ ezután megtekintette a fizikai szertárt, ahol Károly Irén megmutatta neki új találmányát, a vezetékek nélküli telefont. Agliardi a legnagyobb figyelemmel hallgatta



Károly Ireneus József

<sup>53</sup> Vö.: Dutka Ákos: A Holnap városa. Regényes korrajz a nagyváradi „A Holnap” születésének idejéről. Bp., 2000. Palatinus. 248 p.

<sup>54</sup> Lásd a Kenyeres Ágnes által szerkesztett 'Magyar életrajzi lexikon'-ban!

*Károly Irén érdekes magyarázatát, maga is kézbe vette a telefon kagylóját és megfigyelte az érdekes experimentumot.”*

Úgy tűnik, hogy Károly Ireneus ott volt a rádiózás úttörői között, de erről itthon is kevesen vettek tudomást. Holott nemcsak a kohéreses vizsgálatairól számolt be rendszeresen, de az elektromágneses hullámok vízbeli és elektrolitbeli terjedéséről tíz tanulmányt helyezett el a 'Mathematikai és Physikai Lapok'-ban 1898 és 1904 között. A dolgozatok színvonalas, precíz kísérleti munkáról tanúskodnak, az eredmények nem jelentéktelenek, azonban egy magántanár szava magyarul kevés figyelmet keltett, még akkor is, ha az összefoglaló egy német nyelvű magyar szaklapban is megjelent.

### **Károly Ireneus József**

#### **Elektromos hullámok keltése a galvánáramkör ellenállásának változtatásával<sup>55</sup>**

A galvánáramkör ellenállásának a változása előidézte hullámok kimutatására nem is annyira érzékeny galvanométer kell hisz a kevésbé érzékeny is megteszi a szolgálatot – mint inkább érzékeny, szabályozható és biztosan működő kohéres. Noha a vasszögekből álló kohéres is jelzi e hullámokat, de mert ellenállása nagyon változik s nem eléggé biztos: eddig e célra legalkalmasabb a kötőtűből álló kohéres.

Már 1899-ben, a mikor az antikohéres jelenséget ismertettem,<sup>56</sup> készítettem kötőtűből igen érzékeny kohérert.

Ez évben még jobban tökéletesítettem. A két megmágnesezett kötőtű egyikét egy elszigetelőn mozdulatlanul megerősítem; a másikat rugalmas lemezhez forrasztom; ez utóbbihoz rúgós szerkezetet erősítek úgy, hogy a rajta levő mikrométeres csavarral a szilárdan álló kötőtűhöz erősebben szoríthatom, vagy lazán érinthetem s a kívánt helyzetben állandósíthatom. Ily módon nemcsak érzékenységet tudom változtatni, hanem biztos, precíz működését állandósíthatom is. Állandó működését igazolja tíz egymásután keltett Hertz-féle hullám hatásának az egyformasága; még 1 skálárésznyi differenciát sem észleltem, ha oszcillátorral állítottam elő a hullámokat. S a leggyengébb rázás is elegendő arra, hogy az ellenállásában megkisebbedett kohéres eredeti nagy ellenállását visszanyerje és a galvanométer azonnal a 0°-ra térjen vissza.

<sup>55</sup> Forrás: Károly Irén: Elektromos hullámok keltése a galvánáramkör ellenállásának változtatásával. = Matematikai és Physikai Lapok 12 (1903) pp. 124–127. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 119–127.)

<sup>56</sup> Károly Irén: A párák szerepe a kohéres-jelenségeknél. = Matematikai és Physikai Lapok 8 (1899) pp. 138–140.

E mellett oly biztos, hogy három hónap alatt nem volt reá eset – pedig nap-nap után használok – hogy egyszer is felmondta volna a szolgálatot.

Érzékenységét pedig mutatja már az is, hogy egy 15 kilométer távolságban keltett áramzárás oszcilláció – ha ama áramkört telefonvezető összeköti a kohéreremmel – a kohérer ellenállását oly módon befolyásolja, mintha a tőszomszédságában keltették volna a hullámot, a galvanométer tűje erősen kicsap. (...)

Íme e berendezés mellett effajta kohérerrel nemcsak a közönségesen használt fajtát lehet az oszcillálásnak kimutatni, hanem a galvánáramkör ellenállásának a gyors változtatása által keltett hullámokat is; még pedig egész biztosan és pontosan; sőt méréseket is lehet vele tenni. (Egyszersmind módot és eszközt ad a gyakorlati embernek arra, hogyan lehetne a haladó vonatoknak egymással érintkezni, hogyan lehetne a haladó vonatról jeleket küldeni és e jeleket az állomásokon felfogni, s miként lehetne az elektromos centráléból az ívlámpákat felgyújtani.)

Pásztai Ottó 2004-es monográfiájában Agliardi látogatását a rádiózás története fontos eseményeként állítja be. „Az A. Agliardi nuncius látogatásáról dr. Károly Irén 1928. május 9-én kelt levelében ezeket írta: *A drótnélküli telegráfia jeleit hallgatta meg a telefonba*. Arra a kérdésre, hogy mikor kezdett el ezzel a témakörrel foglalkozni, azt írja *hogy legalább egy-két évvel azelőtt*, tehát egyértelmű, hogy az ez irányú kísérletezésben ő járt legelől. Azonban túlságosan is magabiztos volt, úgy érezte, hogy Popov és Marconi nem érhetik utol. Ezért az iskolai év végén, tökéletes készülékét gondosan becsomagolta kísérleti tárgyaival együtt és elhelyezte a laboratóriumába. Ő pedig a Te Deum után elutazott nyári vakációra, anélkül, hogy hivatalos közleményben bejelentette volna találmányát.

Időközben Marconi (feltételezhetően) a nuncius úrtól kapott beszámoló alapján, szintén elkészítette a maga berendezését, s az ezzel elért eredményeit azonnal közölte a szaksajtóban, valamint a szabadalmi Hivattallal. Így tehát a világ úgy értesült, s mind a mai napig Marconit tartja nyilván, mint a drótnélküli telefon feltalálóját. Dr. Károly Irén pedig élete végéig jogosan abban a meggyőződésben élt, hogy találmányát illetéktelenül megszerezték, aminek következtében Marconi utolérhette őt.”<sup>57</sup>

Valószínűleg helyesen tette Károly Ireneus tanár úr, hogy nyári vakációra utazott. Marconi hírnevét Angliában alapozta meg mind nagyobb távolságok áthidalásával szikratávíró segítségével és sorozatos szabadalmi

<sup>57</sup> Vö.: Pásztai Ottó: „Aki fényt hagyott maga után...”. Dr. Károly Irén József élete és munkássága. Oradea, 2004. Partiumi és Bánsági Műemlékvédő és Emlékhely Bizottság. 107 p. (Partiumi füzetek 29.)



*Marconi első készülékével (a felvétel Londonban készült 1896-ban)*

bejelentéseivel, majd ugyanez a program következett az Egyesült Államokban. Ebben az elképzelt versenyben nem volt esélye a premontrei szerzetesnek az akkor 21 éves olasz fiatalemberrel szemben.

Az elektromágneses hullámok technikai alkalmazásának prioritási kérdése kezdettől homályos volt. Mindenki tudta, hogy az alapvető felfedezés Maxwellé, az első, meghatározó alkalmazás Hertzé. A sorozatos finomítások és tökéletesítések nyomán született meg a szikratávíró, majd akusztikai és optikai jelek továbbítása elektromágneses hullámokkal. Európában Marconi szerepét eltúlozták, másutt azonban hírnevének jogosságát folyamatosan kétségbe vonták; 1943-ban az USA legfelső bírósága érvénytelenítette Marconi rádióra vonatkozó jogdíjas szabadalmainak majd mindegyikét az elődök – egyebek közt Nikola Tesla, Oliver Lodge, John Stone Stone – úttörő munkáira hivatkozva.

### **MAXWELL ELMÉLETÉNEK VISSZHANGJA A HAZAI SZAKFOLYÓIRATOKBAN, TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ PERIODIKÁKBAN ÉS A TANKÖNYV-IRODALOMBAN**

**Heller Ágoston és Szily Kálmán Maxwellről és Hertzről**

A maxwelli elektrodinamika részletekbe menő ismeretét a szaktudósokon kívül mástól nem várhatjuk el. A fizika iránt érdeklődők többségükben a csillagászat vagy a technika felől érkeztek, a filozófiával rokonszen-

vezőket majd a következő században a relativitáselmélet és a kvantummechanika fogja megigézni.

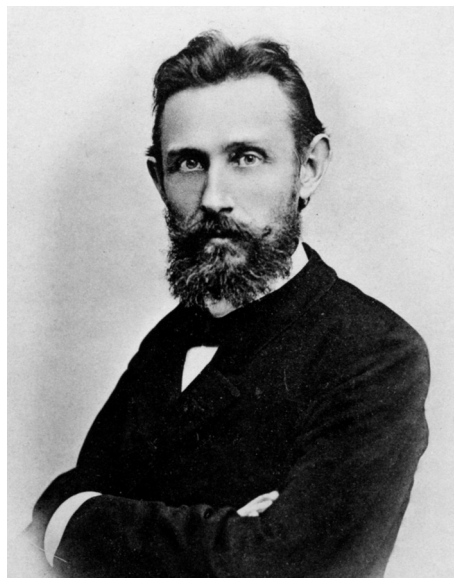
Az 1860-as évektől a huszadik század elejéig születtek rendszeres közlési lehetőségek hosszabb tanulmányok és rövidebb, figyelemkeltő megjegyzések számára egyaránt. A kedvezőtlen történelmi fordulatok túlélőjéről a ma is fontos utódban, a 'Természet Világá'-ban olvasható: „Tudományos ismeretterjesztő folyóiratunkat 1869-ben alapította Szily Kálmán, a Magyar Természettudományi Társulat akkori főtitkára, hogy a lap cikkeivel segítse terjeszteni a természettudományos ismereteket hazánkban.

A 'Természettudományi Közlöny' története a Társulat legnagyobb sikertörténete, egészen a második világháborúig. Ez a lap tette a Magyar Természettudományi Társulatot aktív szervezetté, rövid idő alatt sokszorosává növelve taglétszámát.

...A folyóirat sikerét a lapalapító többek között abban látta, hogy »egyesíteni tudta és maga köré csoportosítani a meglévő és folyton nagyobb számmal fejlődő szakerőket«. Írói között megtaláljuk legtiszteltebb veterán tudósainktól kezdve, a most javában dolgozó derékhadon át, le a még egyetemen járó ifjúságig az egész tollfogható természettudományi író nemzedéket.”<sup>58</sup>

Maxwell elektrodinamikai munkájáról Heller Ágosttól olvashatunk a 'Természettudományi Közlöny' Apróbb Közlemények rovatában.<sup>59</sup> Heller Ágost vasúti mérnöki és matematika-fizika szakos tanári oklevéllel is rendelkezett. Sokat olvasott, így elmélyedésre kevés ideje maradt, nem véletlen, hogy nevét fizikatörténeti munkái őrzik. 1871-ben, a budai főreáliskola tanáraként számolt be – a 'Crelle Journal' nyomán – 'A villamosság mozgási egyenleteiről': „...a villanyossági vonzerőnek idő kell, míg bizonyos téren keresztülhat, ámbár hasonlót a nehézségi erőnél és az általános vonzásnál nem tapasztalni”.<sup>60</sup> Azt gon-

Heller Ágoston



<sup>58</sup> Staar Gyula: A Természet Világa. 134 éve a természettudomány szolgálatában. <http://www.termeszetvilaga.hu/tortenet.htm>

<sup>59</sup> Heller Ágoston: A villamosság mozgási egyenleteiről. = Természettudományi Közlöny 3 (1871) pp. 201–202.

<sup>60</sup> Uo. p. 201.



dolhatnánk, hogy a közelhatásról lesz szó, ám Faraday neve elő sem fordul, hiszen egyenletekről van szó: „A Neumann és Weber-féle egyenleteken kívül Cl. Maxwell is állított fel az indukált áramokra törvényt. ... Helmholtz mind a 3 törvényt vizsgálat alá vetvén, arra az eredményre jön, hogy Neumann törvénye a valóságot legjobban megközelíti... Helmholtz 2 villanyáram egymásra való hatását egy általánosabb képlet által fejezi ki, mint Neumann, Weber és Maxwell. Ezen képletben egy állandó fordul elő, mely a longitudinál villanyhullámok terjedési sebességét foglalja magában...”<sup>61</sup>

Heller Ágostot fizikatörténészként az MTA 1887-ben levelező tagjául választotta. Székfoglaló előadásában, amely a 'Mathematikai és Természettudományi Értesítő'-ben is megjelent, 'A XIX. század physikai kutatásának mozgató eszméiről' szól.<sup>62</sup> Itt az elektrodinamikáról nem mondott érdemlegest, ám jelentőségét egy dodonai jóslat formájában elismerte: „Nem bocsátkozom annak a kérdésnek a fejtegetésébe, hogy melyik lesz a jövő physikájának nézete. ... Egyelőre az elektromosságnak a többi tünevénykörökkel való összefüggésében rejlik – mint látszik – a probléma megoldhatóságának feltétele.”<sup>63</sup>

Az energiát híveként a század legnagyobb teljesítményét ezen a területen találja, és itt adózik elismeréssel Faraday és Maxwell nevének: „...a századnak legjelentékenyebb elvi haladása az energián vagyis az energetika felállítása. ... Az energia törvénye mint világnézet fogható fel, mely a mechanikát természettudomány gyanánt magába foglalja. Maxwell az energia törvényében az energia alaptörvényét látja. Faraday-nél pedig a transformatio eszméje valósággal vezér-eszme.”<sup>64</sup>

Ha egy évvel később, a Hertz demonstráció után készül a székfoglaló, abban valószínűleg szóba került volna a maxwelli elektrodinamika is. Hogy ez nem csak lehetőség, arra bizonyíték magának Hellernek a 'Természettudományi Közlöny'-ben megjelent, a székfoglalójával azonos című írása: „Michael Faraday, londoni kovács fia, ki rendes iskolázás nélkül nőtt fel, az ő sajátos, az iskolai gondolkodás formáitól annyira elütő eszméivel mindig az energetika ösvényein haladt; saját szerű gondolatainak nyait csak most kezdik matematikai alakba önteni.”<sup>65</sup> A körülírás a tettes megnevezése nélkül elismert fogás az érdeklődés fokozására. A most kezdik megfogalmazás 25 évvel a befejezés után viszont a szerző gyanakvására, bizonytalanságára utal.

Heller következtetéseit és az évszámokat összevetve azonban ne fe-

<sup>61</sup> Uo. p. 201.

<sup>62</sup> Heller Ágost: A XIX. század physikai kutatásának mozgató eszméiről. = Mathematikai és Természettudományi Értesítő 6 (1887. október – 1888. június) pp. 259–272.

<sup>63</sup> Uo. p. 271.

<sup>64</sup> Uo. p. 271.

<sup>65</sup> Vö.: Heller Ágost: A XIX. század fizikai kutatásának mozgató eszméiről. = Természettudományi Közlöny 20 (1888) pp. 257–266.



ledjük, hogy még a legnagyobbaknak sem könnyű a kortársi teljesítményeket rangsorolni: Helmholtz, a század egyik legsokoldalúbb természettudósa, berlini éveinek kezdetén épp longitudinális hullámokkal próbálkozott az elektrodinamikában, ami zsákutcának bizonyult. Az még nem volt látható, hogy tíz évvel később az lesz legfontosabb tette ebben a diszciplínában, hogy tanítványát, Heinrich Hertzet rábeszéli Maxwell elméletének követésére. Az alapító Szily Kálmán 1888-ban a fénysebesség jelentéséről értekezett saját lapjában, a Hertz kísérlet után jó érzékkel irányítva a figyelmet Maxwell érdemeire.

1890-ben azután Hertz egy terjedelmes beszámolójának magyarra ültetett szövegét közli a 'Természettudományi Közlöny' 'A fény és elektromosság közti kapcsolatról' címen. A fény és az elektromágnesség alapkérdéseit feszegető szöveg olyan egyszerű és világos, hogy példásan illik a 'Természettudományi Közlöny' ismeretterjesztő elképzeléseihez: „Az a férfiú, akiről szólok, az angol Maxwell volt. Ismeretes a munkája, melyet »Az elektromagnetikus fényelmélet« címen 1865-ben kiadott. Ha ezt a bámulatos theoriát tanulmányozzuk, olyan érzés fog el bennünket, mintha a matematikai formákba önálló élet és értelem volna lehelve; mintha azok okosabbak volnának, mint mi, sőt okosabbak, mint saját feltalálójok is; mintha többet adnának, mint a mennyit a befektetett szellem tőkei eleve remélni engedett. És ez nem is épen lehetetlen...; bekövetkezhetik, hogy ha a formulák igazak, tovább is vezethetnek, mint a meddig a feltaláló bizonyossággal eljuthatni vélt. Ilyen sokat mondó, valódi formulákat persze csak az olyan találhat, a ki éles tekintettel észreveszi az igazságnak minden csekély jelzését, melyet a természet gyakran inkább csak gyanítat, semmint határozottan megad.”<sup>66</sup>

## Heinrich Hertz

### A fény és elektromosság közti kapcsolatról<sup>67</sup>

A fény és elektromosság közt levő kapcsolatról szólván, a laikus legelőször is arra gondol, hogy az elektromos fény forog szóban, pedig e tárgyról mai előadásomban semmit sem szólok.

A fizikus azonban bizonyára azokra a finom, kölcsönös hatásokra gondol, amelyeket a kétféle ható hoz létre: talán a polározódás síkjá-

<sup>66</sup> Vö.: Heinrich Hertz: A fény és elektromosság közti kapcsolatról. Ford.: Erdődy Imre. = Természettudományi Közlöny 22 (1890) pp. 199–207.

<sup>67</sup> Forrás: Heinrich Hertz: A fény és elektromosság közti kapcsolatról. Ford.: Erdődy Imre. = Természettudományi Közlöny 22 (1890) pp. 199–207. – E tárgyról Bartoniek Géza tagtársunk már tett Társulatunknak jelentést, vö.: Természettudományi Közlöny 21 (1889) p. 353.; minthogy azonban a német orvosok és természetvizsgálók múlt nyári nagygyűlésén maga H. Hertz fejtegette e tárgyra vonatkozó nézeteit, jónak láttuk ezt is közölni (– a korabeli szerk. megj.)

nak az elektromos áramtól való elfordítására, vagy az ellenállás fény okozta változására. De ezekben a fény és elektromosság rokonsága oly közvetetlenül nem tűnik ki, mert itt a két hatalmas erő nyilvánulására még egy harmadik, a súlyos anyag közbejátszása is szükséges.

A jelenségek ezzel a csoportjával sincs szándékom most foglalkozni.

E két energia közt bensőbb, szorosabb kapcsolatok is vannak, mint a most említettek. Az az állítás, amelynek én most önök előtt védelmére kelek, egyenesen kimondja, hogy a fény általában – tehát mindenféle világosság, a Nap ragyogása, a gyertya lángja, a sz. János-bogár fénye – elektromos jelenség. Vegyék ki a mindenségből az elektromosságot, megszűnik a világosság is; vegyék ki a fényvivő étert, s az elektromos és mágnesi erők a téren nem fognak többé áthatolni. Ez a mi állításunk! Nem mai az; hosszú történet fűződik hozzá és saját történetén alapul megokolása.

Kísérleteim is, melyek e tárgyra vonatkoznak, csak a már hosszú láncot toldják meg egy szemmel. És én az egész láncról, nemcsak egyes szemeiről szeretnék önöknek szólni. Persze nem könnyű e dologról egyszerre érthetően is és a valóságnak megfelelőleg értekezni. A jelenségek, amelyek itt szóban forognak, az üres térben, a szabad éterben játszódnak le; ezeket meg nem markolhatjuk, fülünk meg nem hallja, szemünk észre nem veszi; csak a belső szemlélet, a helyes fogalmakból kiinduló okoskodás férhet közelükbe, de az érzéki leírásnak alig engednek.

A mennyire lehetséges, megkísértjük tehát, a már birtokunkban lévő helyes képzetekből és fogalmakból kiindulva a kérdést megvilágosítani. Lássuk mindennek előtt, mit tudunk bizonyosat a fényről és elektromosságról és azután kísértjük meg a közöttük fennálló kapcsolatot felkeresni.

### **Mi is a fény?**

Young és Fresnel óta tudjuk, hogy hullámozó mozgás; ismerjük a hullámok sebességét, hosszúságát; tudjuk, hogy azok harántrezgésű hullámok; szóval e mozgás geometriai viszonyaival teljesen tisztában vagyunk. Ezekhez a dolgokhoz kétség nem fér s a fizikusra nézve képzelhetetlen, hogy e nézetek valaha megdöntessenek. A fény hullámelmélete – emberileg szólva – bizonyosság, s ami abból szükségszerűen foly, éppúgy bizonyos. Az is bizonyos tehát, hogy minden tér, amelyről tudomásunk van, nem üres, hanem olyan anyaggal van kitöltve, amely hullámozásba jöhet. Ez az anyag az éter. De amilyen tisztára ismerjük az éterben nyilatkozó folyamatok geometriai viszonyait: fogalmaink olyan homályosak e jelenségek fizikai természeté-

ről, s szintoly ellentmondók részben az éter tulajdonságaira vonatkozó feltevéseink is.

Naivság és jóhiszeműség kellett hozzá, hogy annak idejében a fényhullámokat – a hanghullámokkal hasonlóknak tekintve – rugalmassági hullámoknak tartották, és a szerint bántak el velők; holott a folyós testekben rugalmassági hullámok csak mint hosszrezgések jelentkeznek; rugalmas harántrezgésű hullámok a folyadékokban nem is támaszthatók, mert azok a folyadékok mivoltával homlokegyenest ellenkeznek.

Ez a körülmény arra a feltevésre kényszerítette a fizikusokat, hogy a térbetöltő éter úgy viselkedik, mint a szilárd test. De ha azután az égi testek zavartalan futását fontolóra vesszük, s erről számot akarunk adni, megint csak oda jutunk, hogy az éter tökéletes folyós test. Ez a két állítás kínos ellenmondásban állott egymással s a szépen kifejlett optikát elcsúfította.

A helyett, hogy az elméletnek ezt a gyengéjét szépítgetnők, forduljunk az elektromossághoz; talán ennek tanulmányozásával elháríthatjuk ezt a nehézséget is.

### **Mi az elektromosság?**

Bizonyára nagy kérdés. Érdeket kelt a tudomány szorosan vett határain jóval túl is. A legtöbben, akik e kérdést felvetik, nem kételkednek az elektromosságnak, mint olyannak, létezésében; s ezen csudálatos anyag tulajdonságainak s hatalmának leírását, felsorolását várják.

A szakember előtt a kérdés mindenek előtt az: Van-e egyáltalában elektromosság? Nem lehet-e az elektromos tünetényeket, mint minden egyéb jelenséget, az éter és a súlyos anyag tulajdonságaira visszavezetni? Távol állunk attól, hogy e kérdésben határozottan dönthetnénk. Képzeletünkben bizonyosan nagy szerepet játszik az anyagnak tartott elektromosság. A szólásmódban még manapság is korlátlanul uralkodnak a réghasznált, közkeletű, s közkedveltségű kifejezések, képzetek, a kétféle, egymást vonzó és taszító elektromosságról, melyekre a távolhatás, mint valami szellemi tulajdonság van ráruházva. E képzetek akkor fejlődtek, amikor a Newton nehézkedési törvénye legszebb diadalait aratta az égen, s az akkori felfogásnak és szellemnek nem okozott nehézséget a távolba hatást úgy felfogni, mint amelynek közletőre nincs is szüksége. Az elektromos és mágnes-vonzás éppoly törvénynek hódolván mint a nehézkedés hatása: csoda-e, ha azt hitték, hogy – hasonló távolba hatást feltételezvé – e jelenségeket is úgy magyarázzák meg legegyszerűbben, ha ezeket is ama már ismert alapra fektetik. Persze másképpen alakult ez mindjárt, amint, a jelen évszázadban, az elektromos áram és mágnes egymásra való

kölcsönös hatásait felfedezték; mert ezeknek végtelen sokféleségében a mozgás és az idő is nagy szerepet játszik.

A távolba hatások számát szaporítani s nyilvánulásuk alakjain foltoztatni kellett. E közben az egyszerűség és fizikai valószínűség hovatovább háttérbe szorult, aminek általánosítható egyszerű tételek, úgynevezett elemi törvények felállításával igyekeztek elejét venni.

A híres Weber-féle törvény a legfontosabb e nemű kísérlet. Ki-ki úgy vélekedhetik e törvény helyességéről, ahogy neki tetszik, de az kétségtelen, hogy az efféle törekvések együttvéve olyan tudományos rendszert alkottak, amelynek megvolt a tudományos ingere. aki e varázskörbe jutott, nem menekült belőle egykönnyen.

Ha a kezdett út hamis nyomokon haladt: az intő szót csak olyan ember kiálthatta oda, aki teljesen üde lélekkel, elfogulatlanul nézett a tünemények szemébe s abból indult ki, amit látott, nem abból, amit hallott, tanult, vagy olvasott.

Ilyen volt Faraday. Ő is úgy tanulta ugyan, hogy valamely test elektromozásakor abba kívülről valami belejut; de ő felismerte, hogy a mutatkozó változások csak a testen kívül észlelhetők, a test belsejében sohasem.

Faradayt is arra tanították, hogy az erők a tért egyszerűen átugorják: de ő észrevette, hogy az erőre nagy hatással van az, hogy az ún. átugrott tér milyen anyaggal van kitöltve.

Faraday is olvasta, hogy elektromosságok tényleg vannak, s hogy csak az a kérdés, milyenek az erők: de másrészt látta, hogy ezek az erők hatásait kézzel foghatólag kifejtik, noha az elektromosság maga nem tapasztalható.

Az ő képzelete a dolgot éppen megfordította. Ő előtte az elektromos és mágnesi erők váltak létezőkké, valókká, észlelhetőkké, az elektromosság és mágnesség pedig olyan valamikké, amelyeknek létéről vitázni lehet.

Az erővonalak – miképp ó az önállóknak képzelt erőket elnevezte – az ő lelki szemei előtt mint a térnek állapotai tűntek fel, mint feszültség, mint örvény, mint áramlás, vagy mint bármi más, – arról maga sem tudott számot adni – de ott lebegtek, egymásra hatottak; tolták, nyomták a testeket ide s tova, kiterjeszkedtek, közölvén egymással pontról pontra a hatást.

Arra az ellenvetésre, hogy hát akkor az üres térben a teljes nyugalmon kívül más állapot hogyan létezhetik, könnyű volt e kérdéssel felelnie: lehet-e üres egyáltalában a tér? Nem kényszerít-e bennünket már a világosság is arra, hogy telinek képzeljük? Vajon az éter, melyen a világosság hullámai végig lebbennek, nem lehet-e alkalmas oly változások befogadására is, melyeket mi elektromos és mágnesi erőknek nevezünk? Sőt képtelenség volna-e valamiféle kapcsolatot gon-

dolni e jelenségek és ama hullámok között? Avagy nem lehetnek a fényhullámok ily erővonalak rezdülétei?

Körülbelül itt volt a határa Faraday szemlélődéseinek és sejtelmeinek. Nézeteinek helyességét bebizonyítani nem tudta; buzgón kutatta a bizonyítékokat. A fény, mágnesség és elektromosság egymással való kapcsolatosságát fürkészní, kedvelt tárgya volt. Az a szép kapcsolat, amelyet ő talált, nem az volt, amelyet tényleg keresett. Tovább is kutatott, és csak a késő aggkor szabott határt törekvéseinek.

A sok kérdés közül, miket felvetett, újra meg újra előáll az, hogy kell-e idő az elektromos és mágnesi erők tova terjedésére? Hogyha elektromos árammal hirtelen mágnességét keltünk, ennek hatása megérzik-e azonnal a legnagyobb távolban is, vagy előbb a legközelebb lévő tűt izgatja, azután a következőt s csak úgy jut a legtávolabb esőhöz?

Ha valamely testet gyors egymásutánban váltakozva ellentétesen elektromozunk, vajon minden távolságban ugyanaz pillanatban változik-e az elektromos erő is, egyszerre rezzen-e meg az erő, vagy pedig az ingadozás annál később jelentkezik, minél távolabb esünk az elektrizáló testtől? Ez utóbbi esetben az ingadozás hatása hullámként terjedne tovább a térben. Vannak-e ilyen hullámok? Faraday erre a kérdésre nem érte meg a feleletet, amely szorosan véve egészen beleillik az ő alapgondolataiba.

Ha csakugyan vannak az elektromos erőnek hullámai, amelyek függetlenül származásuk okától terjednek tova a térben, akkor ez döntő bizonyítéka azon erő önálló létezésének, amely őket létrehozta. Hogy ezek az erők nem ugorják át a tért, hanem benne pont-ról-pontra terjednek tovább, mivel sem bizonyíthatjuk be jobban, mint ha terjedésüket nyomról-nyomra követjük. S nem is nehéz e felvetett kérdésekre megfelelni; igen egyszerű kísérletekkel megközelíthetjük ezeket a dolgokat. Ha Faradaynek megadatott volna e kísérletekhez a helyes utat megtalálni, nézetei azonnal diadalmaskodtak volna; a fény és elektromosság rokonsága akkor kezdettől fogva oly szembeszökő lett volna, hogy még az övénel kevésbé éles belátás előtt sem maradt volna rejtve. Azonban a tudomány elé nem ily könnyű és rövid út vala szabva. Az eddigi kísérletek semmi tájékozódást sem nyújtottak, az elmélet pedig tartózkodott attól, hogy Faraday gondolatvilágába belevágjon. Az az állítás pedig, hogy elektromos erők az elektromosság nyilvánulásaitól függetlenül is létezhetnek, az uralkodó elektromos elméletekkel homlokegyenest ellenkezett. Éppúgy határozottan visszautasította az optika azt a gondolatot, hogy a fény hullámai más fajták is lehetnének, mint rugalmas természetűek. Minden kísérletnek, mely az egyik vagy a másik állítással behatóbban foglalkozott, üres elmefuttatásnak kellett feltűnni. Mennyi-

re megcsodálhatjuk ennél fogva azon férfiú lánglelkét, aki két sejtelmet – melyek egyenként véve egymástól oly távol estek – úgy tudott összekapcsolni, hogy azok egymást kölcsönösen támogatták s vég-eredményben oly elméletre vezettek, amely a valószínűség látszatát magán viselte.

Az a férfiú, akiről szólok, az angol Maxwell volt. Ismeretes a munkája, melyet '*Az elektromagnetikus fényelmélet*' címen 1865-ben kiadott. Ha ezt a bámulatos theoriát tanulmányozzuk, olyan érzés fog el bennünket, mintha a matematikai formákba önálló élet és értelem volna lehelve; mintha azok okosabbak volnának, mint mi, sőt okosabbak, mint saját feltalálójok is; mintha többet adnának, mint amennyit a befektetett szellemi tőke eleve remélleni engedett. És ez nem is éppen lehetetlen; bekövetkezhettek, hogy ha a formulák igazak, tovább is vezethetnek, mint ameddig a feltaláló bizonyossággal eljuthatni vélt. Ilyen sokat mondó, valódi formulákat persze csak az olyan találhat, aki éles tekintettel észreveszi az igazságnak minden csekély jelzését, melyet a természet gyakran inkább csak gyaníttat, semmint határozottan megad.

A szakemberek előtt ismeretes, hogy miféle nyomon indult el Maxwell. Más kutatóknak is szemökbe ötlött az s hasonló, habár nem olyan szerencsés spekulációra ösztönözte őket. Ez ti. a következő körülmény volt. Mozgó elektromosság mágnesi erőt, mozgó mágnesség elektromos erőt gerjeszt. E hatások azonban csak a mozgás igen nagy gyorsaságával válnak szembeszökőkké. Az elektromosság és mágnesség e kölcsönös hatásaiban tehát a sebességek is főtényezők, s maga az az állandó is, amely e kölcsönös hatásokat előtűntető formulákban mindig szerepel, nem más, mint óriási nagy sebesség.

Ezt először Kohlrausch és Weber – különböző módon – tisztán elektromos kísérletekből határozták meg s kitűnt – már amennyiben a nehéz kísérletekből kitűnhetett, hogy ez összevág egy másik nevezetes sebességgel, a fénysebességgel.

Ez véletlenség is lehetett volna, csak hogy ez Faraday tanítványa előtt véletlennek nem tűnhetett fel; ő a sebességek megegyezését annak tulajdonította, hogy az elektromos erőket és a fényt egyazon éter közleti. A két, majdnem egyformának talált sebességnek a valóságban egyenlőnek is kell lennie. Akkor azonban a legfontosabb optikai állandó ott van már az elektromosságra, vonatkozó matematikai formulákban. Ez az a kötelék, amelyet Maxwell szorosabbra akar húzni. Kibővítette az elektromos formulákat úgy, hogy az ismert jelenségek mellett még a jelenségek egy ismeretlen szakaszára is kiterjedtek, ti. az elektromos hullámokra. Ezek a hullámok azután harántrezgésűek lettek, melyek hullámhossza minden értékű lehet, de az éterben mindig egyazon sebességgel – a fény sebességével – terjednek tova.



Ekkor azután Maxwell utalhatott arra, hogy a természetben csak-ugyan vannak éppen ilyen geometriai természetű hullámok, habár nem szoktuk is meg őket elektromos jelenségeknek tekinteni, hanem külön névvel fénynek. nevezzük. Persze, ha a Maxwell elektromos elméletét tagadjuk, megszűnik az ok, hogy a fényt illető véleményét elfogadjuk. Vagy ha erősen ragaszkodunk ahhoz, hogy a fény rugalmas természeti tünemény, akkor az ő elektromos theoriája nélkülözi ez alapot. De ha a meglévő nézetekkel nem törődve lépünk ebbe az épületbe, észrevevessük, hogy részei úgy támasztják egymást, mint a bolthajtás kövei; s a maga egészében úgy tűnik fel, mintha ismeretlen dolgok mély örvényét ismeretesekekkel hidalná át.

Az elmélet nehézsége persze nem engedte a követők számát mindjárt nagyra nőni; hanem aki egyszer belemélyedt, pártjára állt s mohón esett neki, hogy megvizsgálja tőről hegyre első feltevését úgy, mint legutolsó következtetését. A kísérleti puhatolódzásnak természetesen még sok ideig csak egyes állításokra – mintegy az elméletnek csak külső szerkezetére kellett szorítkoznia.

Az imént olyan bolthajtáshoz hasonlítottam a Maxwell-féle elméletet, amely ismeretlen dolgok mélysége fölé ború. Ha szabad ezt a hasonlatot tovább használnom, azt mondanám, hogy az egész, amit régi idő óta ennek a boltozatnak az erősítésére tehettek, annyi, hogy a két boltvánkost erősítették. Ezzel a boltozat oly erős lett, hogy önmagától megállott ugyan, de ívnyílása szélesebb volt, semhogy rajta – mint biztos alapon – tovább építkezni lehetett volna. Még különféle gyámozlopokra volt szükség, melyek a szilárd talajból felemelkedve, a boltozat közepét tartásák. Ilyen oszlophoz lehetett volna hasonlítani annak a bebizonyítását, hogy a világossággal közvetlenül elektromos és mágnesi hatásokat idézhetünk elő. Ez az oszlop közvetlenül az épület optikai, közvetve az elektromos részének nyújtott volna biztosságot. Másik oszlop lett volna annak a bebizonyítása, hogy vannak olyan elektromos vagy mágnesi erőhullámok, amelyek a fényhullámok módjára terjeszkednek. Erre az oszlopra közvetlenül az elektromos, közvetve az optikai rész támaszkodott volna.

Az épület harmonikus befejezése mindkét oszlop teljes felépülésétől függ; szükségből az egyik is megteszi a szolgálatot. Az első még nincs munkába véve; a másodiknak azonban sikerült hosszas kutatás után szilárd támaszpontot találni.

Az alap elég szélesen van lerakva; az oszlop már emelkedőben is van s a sok gyámolító kéz munkájával nemsokára az ív alá feszül, hogy a tovább emelendő épület terhét tartani segítsen. Itt jutott nekem az a szerencse, hogy a munkában én is részt vehettem.

E körülmény révén részesülök abban a megtiszteltetésben, hogy önök előtt szót emelhetek; s egyúttal megengedik, hogy figyelmüket

most már az épületnek csupán erre a részére irányítsam. A rendelkezésemre álló rövid idő azonban arra kényszerít, hogy sok kutatónak idevágó munkásságát – az igazságosság rovására is – egyszerűen mellőzzem. Nincs időm önök elé tárni, hogy kísérleteim másoktól már mily sok irányban elő voltak készítve s némely kutató mily közel járt már a végrehajtásukhoz.

Valóban, olyan nehéz lenne bebizonyítani, hogy az elektromos és mágnesi erők terjedésére idő kell?

Nem lehetne-e leydeni palackot kisütni és közvetetlen megfigyelni, hogy a távol eső elektroszkóp bezenése valamivel később történik-e? Nem lenne-e elegendő, hasonló célból a mágnesűt megfigyelni, mikor bizonyos távolságban hirtelen elektromosságot gerjesztünk. Tény, hogy ilyen, vagy ezekhez hasonló kísérleteket már előbb is végeztek, a nélkül azonban, hogy az ok és a hatás közt időkülönbséget vettek volna észre. A Maxwell-féle elmélet értelmében a terjedési sebesség rendkívüli nagyságánál fogva kell is, hogy ez így legyen.

A leydeni palack elektromosságát, vagy a mágnes erejét végre is nagy távolságból nem, csakis mérsékelt, mondjuk csak 10 méternyire bírjuk észrevenni. Ennyi utat a fény – tehát az elmélet szerint az elektromos erő is – a másodpercnek 20 milliomod része alatt fut be. Oly csekély időt közvetlenül sem észrevenni, sem mérni nem lehet. De nagyobb baj az, hogy nincs is olyan jelző módunk, amellyel ennyi idő határait elég élesen felismerhetnők. Ha valamely hosszúságot egy tizedrész milliméter pontossággal szabatosan meg akarunk mérni, nem jelölhetjük meg a kezdetét széles krétavonással. Az időt egy ezredrész másodpercnyi pontossággal meg akarván határozni, fonák dolog volna, a kezdetét valami nagy harang megkondításával jelölni. A leydeni palack kisülésének ideje köznap fogalmaink szerint elenyészőleg csekély, de minden esetre rövid lenne akkor is, ha a másodpercnek mintegy harminc ezredrészig tartana; s még akkor is 1000-szer volna hosszabb, mint amekkora időt ami célunk elérése végett mérnünk kellene. Azonban itt a természet egy finomabb eszközzel dolgozik kezünkre. Régóta tudjuk ugyanis, hogy a leydeni palack kisülése nem egyszerű villanó tűnemény, hanem, mint a harang ütése, nagyszámú rezgésekből, ide-oda csapó kisülésekből van összetéve, melyek egymásra, egyenlő periódusokban következnek. Az elektromosság utánczója lehet a rugalmas tűneményeknek. Az egyes rezdülések tartama sokkal rövidebb, mint a teljes kisülésé, s így az embernek az az ötlete támadhat, hogy ezeket használja határjelzőkül. De sajnos, az észlelt legrövidebb rezzenetek is eltartanak egy milliomodrész másodpercig. Ilyen rezdület lefolyása alatt annak a hatása már 300 méterre is terjed, úgy hogy egy szoba szerény terében érzékeink mind a kettőt egyszerre érzik meg. Így a már ismert dolgokból kiindulva,

nem lehetett célhoz jutni; új ismeretnek kellett segítségül jönnie. Ez az volt, hogy nemcsak a palaczk kisülése, hanem alkalmas körülmények között akármely tetszőleges vezető kisülése is még inkább okot szolgáltat a rezgésre, s e rezzenetek sokkal rövidebbek lehetnek a palackéinál. Ha önök az elektromos gép gyűjtőjét kisütik, oly rezgéseket támasztanak, amelyeknek tartama egy 100 milliomodrész és egy 1000 milliomodrész másodperc közé esik. Persze ezek a rezgések nem hosszantartó egymásutánban következnek, hanem kevés számú, gyorsan villanó rezzenetekből állanak.

Kísérleteinkre jobb volna, ha az másképp lenne, de a siker lehetősége már így is adva van, hacsak 2–3 ilyen éles határjelzést kaphatunk. Az akusztikában is beérnénk azzal, hogy kelepelő fadarabokból rögtönzünk szegényes zenét, ha a sípok és húrok tele hangja nem adatott volna számunkra.

Így olyan jelzők birtokában jutottunk, melyekre nézve a másodpercnek 30 milliomod része sem rövid idő. De mindezeknek még kevés hasznát vehetnők, ha nem tudnók hatásukat a szándékolt – mintegy 10 méternyi – távolságból tényleg észrevenni. Erre azonban igen egyszerű mód kínálkozik. Oda, ahol a hatót észlelni akarjuk, egy vezetőt – mondjuk egy egyenes drótot – állítunk, melynek egy helyen finom szikrához való megszakítása van. A gyorsan váltakozó erő a vezető elektromosságát mozgásba hozza, és benne szikrát szül. Ezt a módot is a tapasztalásból kellett felismerni, a fontolgatás útján nem igen lehetett azt előre látni. Mert a szikrák mikroszkopikusok, alig egy századrész milliméter hosszúak, és nem tartanak egy milliomodrész másodpercig.

Lehetetlennek, sőt képtelenségnek tetszik, hogy ezeket meg lehessen látni; de teljesen sötét szobában a pihent szem észreveszi őket. Ilyen vékony hajszálon függ vállalatunk sikere.

Itt mindjárt egész csapat kérdés tolul elénkbe. Mely körülmények közt lesznek legerősebbek a rezgések? Ezeket a körülményeket gondosan ki kell puhatolni és kihasználni. A rezgést felfogó vezető milyen alakú legyen? Ha egyenes, ha görbe, vagy más alakú vezetőt választunk, a tünetmények némileg mindig másképp fognak jelentkezni. Ha az alakjával tisztába jöttünk, milyen nagy legyen a vezető? Csakhamar kitűnik, hogy ez sem mindegy, mert nem minden rezgést lehet ugyanazon vezetővel megvizsgálni; hogy a kettő közt olyféle vonatkozások vannak, melyek az akusztikai resonantia tünetményeire emlékeztetnek. Végre hány különféle helyzetben tarthatjuk oda egy és ugyanazt a vezetőt a rezgésekbe. Ekkor azt látjuk, hogy a szikrák majd erősebbek, majd gyengébbek, majd meg teljesen eltűnnek.

Nem szánhatom magamat arra, hogy önöket ez apróságokkal mulattassam; az általános összefoglalásban ezek mellékes dolgok; de

nem mellékesek azokra, akik e téren dolgoznak. Ezek az ő szerszámaik sajátosságai: amennyire a munkás a szerszámát ismeri, attól függ, hogy mit tud vele művelni. A szerszám tanulmányozása, az említett kérdések meghányása-vetése tette tehát a végrehajtandó munkának is javarészét. Miután ez a rész tisztába jött, önként kínálkozott a mód a főkérdés megoldására. Adjanak önök néhány hangvillát és resonatort a fizikus kezébe és szólítsák fel annak a kimutatására, hogy a hang terjedése időbe kerül, s ő a feladatot a korlátolt méretű teremben is minden nehézség nélkül megfejtí. Felállítja a teremben valahol az egyik hangvillát s a resonátorral különféle helyeken hallgatózik és megfigyeli a hang erősségét. Kimutatja, hogy némely ponton igen csekély s az onnét van, mert ott minden hullámot egy másik később induló, mely ugyanahhoz a célhoz rövidebb úton jut, megsemmisít. Ha a rövidebb út kevesebb időt kíván, mint a hosszabb, akkor a továbbterjedés időben történik; a feltett kérdés meg van oldva. De ami fizikusunk még azt is kimutatja, hogy a néma helyek periodikusan egyenlő távolságokra követik egymást; ebből megtudja a hullámhosszat, s ha a hangvillának rezgési idejét ismeri, abból a hang terjedése sebességét is kiszámíthatja. Nemkülönben bánunk mi el az elektromos hullámokkal. A hangvilla helyébe a rezgő vezetőt tesszük, resonator helyett pedig a megszakított drótot, melyet elektromos resonatornak nevezhetünk el. Azt vesszük észre, hogy ez a resonator a tér némely helyein szikrákat ad, egyebütt nem. Látjuk, hogy a sötét helyek szigorú törvényszerűséggel következvén, egymásra, az időben történő tovaterjedés ki van mutatva, a hullámhosszak mérhetőkké váltak. Az a kérdés merül most fel, hogy a talált hullámok vajon hosszrezgésű vagy harántrezgésű hullámok-e? A drótot két különböző helyzetben tartjuk oda a hullám ugyanazon helyére: az elsőre megszólal, a másodikra nem. Ezzel a kérdés el van döntve. Harántrezgésű hullámokkal van dolgunk.

Ha sebességüket akarjuk ismerni, megszorozzuk a lemért hullámhosszat a kiszámított rezgésidővel s oly sebességet találunk, amely a fényéhez közel jár. Ha a számítás megbízhatóságában kételkedünk, más útra is térhetünk. Az elektromos hullámok sebessége a vezető drótokban szintén rendkívül nagy; ezzel közvetlenül összehasonlíthatjuk a levegőben haladó hullámok sebességét. A drótokban áramló elektromos hullámok sebességét azonban már régóta közvetlenül megmérték. Ez előbb volt lehetséges, mert ezeket a hullámokat sok kilométer úton át szemmel lehet tartani. Így (közvetve) tisztán kísérleti úton mérjük meg a szóban forgó sebességet, és ha az eredmény csak nagyjából vág is össze, akkor az semmi esetre sem áll ellentétben azzal, amit már más úton kaptunk.

Alapjokban ezek a kísérletek igen egyszerűek, de nagyon fontos

következményeket vonnak magok után. Halomra döntik mind azt a teoriát, mely az elektromos erőket olyan tulajdonsággal ruházza fel, hogy azok időt nem kívánva a tért átugorják. E kísérletek a Maxwell-féle teoria fényes diadalát jelentik; nem köt az most már áthidalatlanul távol álló természeti tüneteményeket össze. Aki előtt a fény mivoltáról táplált nézete csak egy kissé is valószínűnek tetszett annak nehéz dolog most már e felfogás elől menekülnie. Már a célnál volnánk: Talán a teoria közbenjárása nélkülözhető. Kísérleteink már nagyon is azon gerinc hágóján mozognak, amely a teoria szerint a fény és elektromosság mezejét összekapcsolja. Közeljutottunk ahhoz, hogy még egy pár lépést téve, megkísértsük leereszkedni az optika jól ismert mezejére. Nem lesz felesleges a teoriát kirekeszteni.

A természetnek sok olyan barátja van, akit a fény mivolta érdekel, aki feléri ésszel az egyszerűbb kísérleteket, de akinek a Maxwell teoriája mégis hétpecsétes könyv. De a tudomány oekonomiája is úgy kívánja, hogy a vargabetűk kerültesse, ahol egyenes úton lehet haladni. Ha elektromos hullámokkal közvetlenül fénytüneteményeket lehet előállítani, akkor semmiféle teoria közbenjárására sincs szükségünk. A rokonság magokból a kísérletekből kiviláglik. Ilyen kísérletek valóban létesíthetők. A vezetőt, amely a rezgéseket kelti, egy nagy homorú tükör gyűjtő vonalába helyezzük. Ez a hullámokat összetartatja és azok erős sugárkéveként hagyják el a tükröt. Természetes, hogy ezt a sugarat közvetlenül sem nem láthatjuk, sem nem érezhetjük; hatása abban nyilvánul, hogy az útjába tartott vezetőből szikrát csal ki.

Szemünk csak akkor veszi észre, ha rezonátorral van felfegyverkezve. Egyébiránt valóságos fénysugár; ha a tükröt forgatjuk, különböző irányt adhatunk neki; útját kikutatva, egyenes vonalú terjedését is bebizonyíthatjuk. Ha vezető testeket állítunk útjába, azok a sugarat nem bocsátják át: árnyékot vetnek; de a sugarat nem semmisítik meg, csak visszaverik. A visszavert sugarat követve meggyőződhetünk, hogy visszaverődésének törvénye az, ami a fény visszaverődéséé. De meg is törik ez a sugár; hasonló módon, mint a fény.

Hogy a fénysugarat megtörjük, prizmán bocsátjuk keresztül, s ez az egyenes irányától eltéríti. Éppúgy cselekszünk itt, és hasonló eredményre jutunk. Csakhogy itt a hullámok és sugarak méreteinek megfelelőleg igen nagy prizmat kell alkalmazni; tehát igen olcsó anyagból, pl. szurokból, vagy aszfaltból készítjük. Végre még azokat a tüneteményeket is felismerhetjük a mi sugarunkon, amelyeket eddig egyes egyedül csak a fényen észleltek: a polározódás tüneteményeit. Ha alkalmas szerkezetű drótrácsot állítunk a sugár útjába, a szikrákat épp olyan geometriai törvényszerűséggel villantathatjuk fel, vagy altathatjuk ki rezonátorunkban, mint ahogy a polározó készülék mezeje egy kristálylap betolásával majd elsötétül, majd megvilágosodik.

Ennyit a kísérletekről. Ezeknek végrehajtásában már teljes tökéletesen a fénytan területén állunk. amint ezeket a kísérleteket tervezük, amint leírjuk, már nem az elektromosság, hanem az optika jár az eszünkben. Nem látunk itt többé a vezetőkben áramokat keringeni, elektromosságot összetorlódni; most már csak hullámokat látunk a levegőben, amint egymást keresztezik, amint szétbomlanak, egyesülnek, egymást erősítik és gyengítik. Tisztán elektromos tünetmények mezejéről elindulva, nyomról nyomra tisztán optikai tünetményekre jutottunk. A gerincen átvergődtünk; az út lejt és lankásodik ismét. A kapcsolat a fény és elektromosság közt, amelyet az elmélet gyanított, remélt, előrelátott: teljesült úgy, hogy az érzékek felfoghatják, a józan ész megértheti. A legmagasabb pontról, ahová feljutottunk, magáról a gerincről, széles kilátás nyílik mind a két mezőre. Nagybaknak tűnnek fel előttünk, mint aminőknek eddig ismertük őket. Az optika uralma nem szorítkozik többé csak azon éterhullámokra, amelyek a milliméternek is csak kicsiny részei: olyan hullámokkal gyarapodik, amelyeknek hosszúsága deciméterekre, méterekre, sőt kilométerekre rúg. És ezen kibővülése ellenére úgy tűnik fel ismét, mint az elektromos területnek egy kis függeléke. Ez az utóbbi gyarapodott legjobban. Ezerféle helyen pillantunk meg elektromosságot, ahol létezéséről eddig biztos tudomásunk nem volt. Minden lángban, minden világító atomban elektromos jelenséget látunk. Ha valamely test nem is világít, csupán melegséget sugároz ki, akkor is az elektromosság forrását látjuk benne.

Így terjed ki az elektromosság uralma az egész természetre. Vélünk is közelebbi kapcsolatba lép: észrevesszük, hogy a szemünk valóságos elektromos szerv. Az állásponttól, amelyre eljutottunk, ilyen kilátás nyílik lefelé a részletekre; de nem kevésbé jutalmazó kilátás ígérkezik felfelé, a magas csúcsokra, az általános célokra. Itt van pl. előttünk a közvetlen távolhatások kérdése. Vannak-e ilyenek? A sokból, ami volt egy maradt meg csupán: a gravitáció. Ebben is csalódunk-e? A törvény, amely szerint hat, már gyanússá teszi. Más oldalról ott van közel az a kérdés, hogy mi az elektromosság lényege? Ez innét tekintve, a kidomborodóbb kérdés mögé rejtőzik, amely az elektromos és mágnesi erők térbeli mivoltára vonatkozik. És közvetlen ezekhez fűződve, az a nagy és fő kérdés magaslik ki, hogy a tért betöltő anyagnak – az éternek – mivolta, tulajdonságai, szerkezete, nyugvása és mozgása, végtelensége és határolt volta vajon miben áll? Hovatovább úgy tűnik fel előttünk, mintha ez a kérdés felülhaladná valamennyit; mintha az éternek az ismerete nemcsak az egykori súlya mérhetetlen anyagok lényegét fogná feltárni előttünk, hanem magának a régi materiának és az ő legbensőbb tulajdonságainak: a nehézségnek és tehetetlenségnek lényegét is. Ősi fizikai iskoláknak



foglalata e néhány szóban maradt reánk: minden ami van, vízből és tűzből való. A mai fizika meg ahhoz a kérdéshez jutott már közel, hogy talán minden, ami létezik, nem éterből van-e teremtve? Ezek a dolgok a mi tudományunknak, a fizikának, legvégső céljai. Ezek – hogy a képlet mellett maradjunk – az ő alpeseinek hóborította csúcsai; megengedett-e valaha e csúcsok egyikére hágnunk? Mikor fog ez megtörténni, hosszú idők multán, vagy nemsokára: nem tudjuk. De a további vállalkozásokra van támaszpontunk, mely egy fokkal magasabban fekszik, mint az eddig használtak. S az utat nem szeli itt át sima sziklafal, hanem legalább a hágónak legközelebbi kikémlélhető része még mérsékelt hajlású, és a kövek között oly ösvényeket találunk, amelyek felfelé vezetnek.

Buzgó, törekvő és gyakorlott kutató van elég: tehát hogyan nézhetnénk reményteljesen a jövődő vállalkozások sikere elé?

### Az eötvösi indíttatás

A szűkebb szakma részére Kónig Gyula 1876-ban több tanártársával együtt megindította a 'Műegyetemi Lapok' c. folyóiratot. Mindössze három évig létezett, de a megjelent néhány szám a maxwelli elmélet korai bemutatása érdekében sokat tett. Ugyanez mondható el a Magyar Tudományos Akadémia III. Osztályának közleményeiről, az 1882-ben indult 'Mathematikai és Természettudományi Értesítő'-ről. Azonban ezek a kiváló fórumok azoknak az egyetemi embereknek, akadémikusoknak adtak közlési lehetőséget, akiknek a munkásságáról már szó volt, így csupán az eddigieknek a közlemények oldaláról tekintett összefoglalása lenne a publikációk ismeretése, olyan áttekintés, ahol a kronológia szempontja kerülhet előtérbe.

Az ismeretterjesztés és a szakértőknek szóló írások közé helyezhetők a középiskolai tanárok által és szakmai fejlődésük érdekében tartott előadások és közölt tanulmányok. A XIX. század utolsó harmadában szilárdult meg a középiskolai oktatás keretei és lettek egyre többen a szak tárgyukért lelkesedő matematika és fizika tanárok.

1891. június 1-jén megjelent a 'Mathematikai és Fizikai Lapok' első száma. Ennek beköszöntőjében írta Eötvös Loránd: *Célunk nem a tudomány népszerűsítése s nem is önálló tudományos dolgozatok közlése: mások sikerrel vállalkoztak már e feladatok teljesítésére. Mi tudományosan ismertető cikkek alakjában fogjuk megadni a szakembernek azt a szellemi táplálékot, melyre szüksége van, ha haladni akar, mert jól tudjuk, hogy különösen a tudományban a nem haladás csak annyit jelent, mint az elmaradás.*

Ezt a gondolatot folytatta Eötvös, amikor néhány hónappal később a Mathematikai és Fizikai Társulat alakuló ülésén a közös programról beszélt:

*A tudomány haladását rendes összejöveteleinken élő szóban előadni és mindazt, a mi a szakember figyelmére méltó, szakfolyóiratunkban megírni: ez a mi feladatunk. E feladat nem látszik nagynak, alig többnek egy önképzőkör feladatánál; és mégis, ha híven teljesítjük, érdemes munkát végzünk és nagy szolgálatot teszünk vele. Hiszen ha elérjük azt, hogy mindenki, a ki hazánkban physikát és matematikát tanít, igazán physikus és matematikus legyen: akkor nagy szolgálatot tettünk nemcsak az iskolának, hanem hazánk tudományosságának is. Hogyha ezen önképzés feladatát híven és komolyan teljesítjük, annak az is lesz az eredménye, hogy a mi körünkől fognak majd kiválni a tudomány önálló művelői és fejlesztői.*

Nem illik *mi lett volna*, ha címkéjű feltételezésekkel érvelni, de a körülmények változását a század utolsó évtizedének elején azzal világíthatjuk meg legáttekinthetőbben, ha arra válaszolunk; *mi lett volna*, ha Eötvös Loránd 25 évvel előbb lesz az Akadémia elnöke. (Egy gondolat kísérletben eltekinthetünk az életkor miatti nehézségektől, amelyek egyébként kikerülhetetlenek lennének, hiszen Eötvös 1889-ben, negyven évesen is a valaha volt legfiatalabb elnöke az Akadémiának.) Ebben a megkérdőjelezetlen tekintélyben, ami lehetővé tette, hogy fiatalon legyen elnök, rejlik a kérdés értelme. Ugyanis ha egybeesik az Eötvös tekintélye alapján szerveződő Matematikai és Fizikai Társulat megalakulása, a 'Matematikai és Fizikai Lapok' első megjelenése a Maxwell-elmélet kezdeteivel, nagyobb lehetőséget kapott volna a magyar fizikus közvélemény az események követésére. (Persze ahogy Eötvös akadémiai elnökségét siettetjük, úgy akár Maxwellt is biztathatnánk ráérősebb elméletalkotásra, már csak a miatt is, mert a magyar középiskolai hálózat még 1889-ben sem épült ki teljesen.)

A kérdés feltevését az adható válasz menti: nagyobb publikációs lehetőség valószínűleg nem sokat változtatott volna az eredményen, hiszen Európa többi országában sem keltett számottevő érdeklődést Maxwell elmélete Hertz kísérleteiig. Ha pedig ez a helyzet, akkor Magyarországon épp időben alakultak optimálisra szakmai folyóiratok és érdeklődő közönség egymásra találásában a feltételek.

### **Bartонiek Géza, Kiss József, Czögler Alajos véleménye Hetről és Maxwellről**

1889. május 22-én, alig fél évvel azután, hogy Hertz a berlini akadémián bemutatta kísérleteit, megismételte ezeket a kísérleteket Budapesten, a Természettudományi Társulat szakülésén Bartoniek Géza. Az előadás anyaga 'Az elektromosság és a fény jelenségeinek rokonsága' címmel jelent meg Bartoniek tollából a 'Természettudományi Közlöny' 1889 augusztusi számában. Ebben olvashatjuk: „Midőn Hertz kísérleteinek részletes leírása

*folyó év márczius havának vége felé megjelent, a Természettudományi Társulat kíváncsúnak tartotta, hogy a kísérleteket a társulati tagok egyike szakülésein bemutassa és ismertesse. A feladat reám esvén, örömmel vállaltam, hiszen teljesítésében minden kívánható támogatásban részesültem. Ugyanis Bárány Eötvös Loránd egyetemi tanár úr a vezetése alatt álló fizikai intézet helyiségeit s gazdag felszerelését e célra rendelkezésemre bocsátotta, sőt a szükséges új készülékeket – közöttük két nagy parabolás tükröt el is készíttette. A kísérletek könnyebbek, mint eleinte gondoltam.*<sup>68</sup>

Bartoniek Géza 1879-től 1886-ig a fizikai intézetben Eötvös Loránd tanársegéde volt. Ezután a budapesti polgári iskolai tanítóképző tanára, majd 1895-ben megbízta az akkori kultuszminiszter, Eötvös Loránd az Eötvös József-kollégium megszervezésével. Mint ennek igazgatója (1927-ig) magas színvonalon szervezte meg a középiskolai tanárok tudományos képzését. Számos értekezést írt az elektromosság köréből.

Debrecenben, a Református Kollégiumban 1889 őszén K. Kiss József természettan tanár tartotta meg székfoglaló előadását. „A kor tudományos színvonalának megfelelő áttekintést adott az elektromosságtanra vonatkozó elméletek és kísérletek fejlődéséről. Gauss, Weber, Faraday után részletesen ismertette Lorentz 1867-es értekezését, majd így folytatta: »Lorentz ezen értekezését két évvel megelőzte James Clark Maxwellnek, a tudomány nagy veszteségére, eredménydús munkálkodása közben korán elhunyt angol tudósnek 1865-ben megjelent s 1873-ban kiadott tankönyvébe is felvett értekezése.« – Ezután következett K. Kiss József előadásában Maxwell elméletének szemléletes, kvalitatív magyarázata, majd legvégül »Hertz bonni tanár kísérletei«, melyről Hertz 1887 és 1889 között a 'Wiedemann Annalen'-ben megjelent publikációi alapján számolt be: »E kísérletek után Hertz a távolhatás elvétől amelynek bizonyítása céljából hajtotta végre jó részben kísérleteit, s a mely szerint eddig azokat magyarázta is – elpártolván, a Maxwell-féle fényelmélet követőjévé lett. ... Hertz kísérletei után a régiek több, mint kétezer éves álma, az utolsó tüneménycsoportnak a Maxwell-féle fényelméletben nyert megfejtésével, beteljesedettnek látszik, mivel ma már az electromagnetikus tüneményeket is rezgésekből állóknak tekintjük.«<sup>69</sup>

<sup>68</sup> Bartoniek Géza: Az elektromosság és a fény jelenségeinek rokonsága. = Természettudományi Közlöny 21 (1889) p. 367. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 353–370.)

<sup>69</sup> Radnai Gyula: Az Eötvös-korszak. In: Kovács László (szerk.): Fejezetek a magyar fizika elmúlt 100 esztendejéből (1891–1991). Bp., 1992. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. pp. 31–32.

### **'Középiskolai Matematikai Lapok'**

Győrben, a főreáliskolában is francia példa nyomán született meg az ötlet: igényes, színvonalas lapot kellene indítani a matematikában tehetséges középiskolai tanulók számára. A Vuibert-féle 'Journal de mathématiques elementaires' volt a minta, a kezdeményező tanárok pedig Schey Lipót (1851–1899) és fiatalabb kollégája: Arany Dániel (1863–1945). Ez utóbbi szerkesztésében és kiadásában jelent meg 1893 végén a 'Középiskolai Matematikai Lapok' első mutatványszáma Győrben, majd a kedvező fogadtatás nyomán 1894-től két éven át itt szerkesztették és havonta innen küldték szét a lapot az ország középiskoláiba.

A század utolsó évtizedében Hertz kísérletei után a gyakorlati alkalmazás került napirendre. A vezeték nélküli jeltovábbítás először a drótnélküli telegrafálást, a szikratávírók kifejlesztését jelentette. A fejlesztésben, az első szabadalmak bejelentésében, de mindenekelőtt a jól szervezett sajtóviasszhang alapján az olasz G. Marconi és az amerikai állampolgárrá lett N. Tesla a főszereplők. De akkoriban és azóta sem vitatott szerepe volt a drótnélküli távíró, majd a rádió felfedezésében az orosz A. Sz. Popovnak, az angol O. Lodge-nek, az amerikai J. S. Stone-nak és az 1909-es Nobel-díjat Maconival közösen elnyerő német K. F. Braun-nak.

Az elektromágneses hullámok gyakorlati alkalmazásának ezek a kezdeti lépései sajátosan tükröződtek a 'Természettudományi Közlöny' írásaiban. Czögler Alajos másfél oldalas beszámolója *'Elektromos telegráf drót nélkül'* címmel egy akkoriban is világosan reménytelen technikai vázlatról tudósít:<sup>70</sup> „Régóta ismert dolog, hogy két vezető között az elektromos hatások dielektromos közegeken (szigetelőkön) át is terjedhetnek, sőt a Faraday-Maxwell-féle felfogás szerint e közegek tulajdonképpeni színterei az elektromos hatások érvényesülésének. A rezgőkör hosszú póznára tűzött síkkondenzátor lemeze adná ennek az elvi eszköznek a hangját, amit a másik lemez vesz... és ennél fogva ugyanezen állomás másodlagos tekercsét és telefonját váltakozó áramok futják át, úgy hogy a telefon, mindaddig, míg a feladó állomás áramkulcsa le van nyomva, folytonos hangokat ad, melyek az értelmi közlekedést lehetővé teszik.”<sup>71</sup>

Ezt a működőképesnek aligha képzelhető elrendezést csak úgy lehet hihetővé tenni, ha egy varázsló nevét tesszük mellé: „Edison reményli, hogy lehetséges lesz az eljárást nagyobb távolságokra is, különösen pedig tavak és kisebb terjedelmű tengerek fölött sikeresen alkalmazni és ily módon a kábeleket fölöslegessé tenni.”<sup>72</sup> Ha Edison-nak volt köze a fenti elképzeléshez, 1892-ben csak mint futuroológusnak lehetett.

<sup>70</sup> Czögler Alajos: Elektromos telegráf drót nélkül. = Természettudományi Közlöny 24 (1892) pp. 318–319.

<sup>71</sup> Uo. p. 318.

### Korda Dezső párizsi beszámolója

Maxwell munkásságánál jóval ismertebb volt Tesláé, aki nagyfrekvenciás magasfeszültségű kísérleteivel mindenütt elkápráztatta közönségét. Nem voltak kivételek a magyar kísérletezők sem. Nem is lehettek, hiszen Teslára hivatkozni fél sikert jelentett. Korda Dezső (híradástechnikai- és kohó mérnök, mondanánk mai terminológiával) 1892-ben a 'Természettudományi Közlöny'-ben 13 oldalas cikkben számolt be Tesla párizsi bemutatójáról. „...reá akarunk mutatni azon rendkívül érdekes alkalmazásokra, melyeket eme Hertz-féle szaporaváltakozású áramok legújabbban Tesla Miklós már egyéb munkálataiból is világhírré vergődött amerikai elektrikus részéről nyertek. Tesla, ki mult hóban európai útján a londoni és a párizsi fizikai társulatok előtt bemutatott fényes kísérleteivel óriási feltűnést keltett, tulajdonképpen hazánkfia...”<sup>73</sup>

Tesla valóban a Monarchia egy horvát falujában született (ortodox szerb pap fiaként). Kiemelkedően eredményes feltaláló volt és magával ragadó személyiség is; választott hazája, az Egyesült Államok számos államában szupersztárként tartják számon, a születésnapja „Nikola Tesla Nap”. Csak a részletes életrajzokból derül ki, hogy 1881–1882-ben dolgozott Tesla Budapesten is, mint az akkor létesült telefonközpont vezető elektromos szakembere. Tesla vitte győzelemre a váltóáramot az Edison által makacsul védett egyenárammal szemben. Ehhez persze nem nyilatkozatokra volt szükség, hanem transzformátorra és áramköri szabadal-makra, no meg az 1893-as chicagói világkiállításon elért sikerre. De Tesla nagyfeszültségű és igen nagy frekvenciájú váltóáramot is képes volt előállítani, aminek segítségével látványos fényjelenségeket tudott létrehozni.

A számos kísérletről beszámoló Korda az elméleti megalapozásul szolgáló hat oldalon egy ízben említi Maxwell nevét, mint a Hertz kísérlet természetfilozófiai háttérét adó tudósét. Az érvelésbe, a kísérletek magyarázatába viszont Maxwell elméletéből semmi sem kerül. A rezgéstani fogalmakat mind az akusztikából veszi, ami nem tekinthető szerencsésnek, azonban a korabeli mérnökképzésből kiindulva erre a tudásra számíthatott.

<sup>72</sup> Uo.

<sup>73</sup> Vö.: Korda Dezső: Fényelőállítás szapora-váltakozású áramokkal. = Természettudományi Közlöny 24 (1892) pp. 401–413.)



**Fényelőállítás szapora-váltakozású áramokkal<sup>75</sup>**

A Hertz-féle kísérletek tehát a természetfilozófia szempontjából is a legnagyobb érdekekkel bírnak, mert kísérletileg igazolják Faraday és Maxwell tudósoknak azon sejtelmeit, hogy a mágnesi erők nem hatnak a távolba, hanem a közeg által véges, meghatározható sebességgel továbbítatnak, és hogy ezen továbbítási sebesség ugyanakkora mint a fénynek terjedési sebessége ugyanazon közegben.

Utóbbi körülmény nem lehet a véletlen kifolyása. Kell hogy a fény- és elektromágnesi tünetmények között szoros kapcsolat álljon fenn, amire különben egyéb ismert fizikai tünetmény, mint a fénysugarak sarkítási síkjának elfordítása a mágnes tér által, a kettős törés tünetményének létesítése elektromos erőmezőben stb. utalni látszik.

Ma tisztán látjuk, hogy miért nem voltunk szapora váltakozású áramok létesítése nélkül képesek az elektromagnetikus hullámzást észlelni. Egyszerűen azért, mert a dinamógépekben létesített váltóáramok, melyeknek váltakozási száma egyedül a gép forgási sebességtől és a gép sarkainak számától függ és ma is alig haladja meg a 100-at vagy 200-at másodpercenként, oly hullámzásoknak felelnek meg, amelyeknek hossza több kilométer. Mily hosszú vezetéken kellett volna végigsétálnunk, hogy két egymásra következő csomópontot megállapíthassunk! Az ily dinamógépek működése összehasonlítható egy dugóéval, mely valamely csőben aránylag lassan ide-oda jár és abban lég-hullámzásokat létesít, csakhogy olyanokat, melyek sokkal lassabban következnek egymásra, hogysem fülünkben hangot volnának képesek ébresztetni.

Mióta Hertz kísérleteinek eredményeit közzétette, azóta számos helyen ismételték azokat és szigorú bírálat és részben igazolás, részben helyreigazítás tárgyává tették a feltüntetett eredményeket. Alig van ma komolyabb fizikai laboratórium, ahol ne tennének észleléseket szaporaváltakozású áramokkal. Nem célunk e helyen az irányt,

<sup>74</sup> Korda Dezső (1864–1919) Budapesten szerzett mérnöki oklevelet, Franciaországban és Svájcban működött. A zürichi egyetemen magántanári képesítést nyert. Egyik alapítója a Société Electro-Chimie de Basel és igazgatója a Société de Fives-Lilles villamossági gyárnak. Fő működési területe a híradástechnika, a nagyfrekvenciájú technika és a fémkohászat volt. Úttörő eredményeket ért el az elektroötvözetek (pl. ferroszilícium) előállítására terén, ő szerkesztette az első elektromos autóbírt s ő tekinthető a forgókondenzátor feltalálójának. (– a szerk. megj.)

<sup>75</sup> Forrás: Korda Dezső: Fényelőállítás szapora-váltakozású áramokkal. = Természettudományi Közöny 24 (1892) pp. 406–407., p. 408., pp. 412–413. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 401–413.)

melyben a munkálkodás folyik, részletesebben jelezni, fenntartván azt kiváló tudományos érdekénél fogva egy későbbi külön cikk tárgyául. A helyett reá akarunk mutatni azon rendkívül érdekes alkalmazásokra, melyeket eme Hertz-féle szaporaváltakozású áramok legújabbban Tesla Miklós (Nikola Tesla) már egyéb munkálataiból is világhírre vergődött amerikai fiatal elektrikus részéről nyertek.

Tesla, ki múlt hóban európai körútján a londoni és a párizsi fizikai társulatok előtt bemutatott fényes kísérleteivel óriási feltűnést keltett, tulajdonképpen hazánkfia, amennyiben magyar állampolgár és pedig a horvát Határőrvidék volt likkai ezredének Smiljan nevű kis falujában Gospič város közelében a Vellebit hegylánc egyik zugában született 34 évvel ezelőtt. Tanulmányainak a grazi és bécsi Műegyetemen való befejezése után előbb egy évet Budapesten töltött Puskás Ferenc mellett a telefontársaság szolgálatában, azután egy évre a párizsi Edison-társaság laboratóriumába ment Ivri-be, Párizs közelébe, ahonnan a nyolcvanas évek elején New Yorkba került és csakhamar az új világ legelső elektrikusai, mint Graham, Bell, Edison, Elihu, Thomson stb. sorába küzdötte fel magát. Ő a forgó mágnesmezővel bíró váltóáramú elektromotoroknak feltalálója, melyekkel a nagy távolságra menő elektromos erőátvitel kérdése megoldható, mint azt a múlt nyáron rendezett frankfurti kiállítás alkalmával a lauffen-frankfurti erőátvitel megmutatta. Az első ilyenmű Tesla-motor szabadalmi kérvénye a New York-i szabadalmi hatóságnak már az 1883-ik évben be lőn terjesztve. Négy évvel később Galileo Ferraris, turini tanár elméleti megfontolások útján szintén reábukkant a Teslától akkor már gyakorlatilag is értékesített forgó mágnes-mező elvére.

Teslának az a szerencsés gondolata támadt, hogy megvizsgálja, miként viselkednek a ritkított levegővel bíró csövek és a phosphorescentiával bíró anyagok a szaporaváltakozású áramokkal szemben. Az eredmény, melyhez eljutott, a szó szoros értelmében fényes lőn, amennyiben páratlanul szép fénytűnemények álltak elő kutatásai során.

Ismerkedjünk meg kísérleteivel azon sorrendben, amint azokat a párizsi fizikai társaság és az elektrikusok nemzetközi társaságának együttes ülésén bemutatta, ahol azokat jelen sorok írója láthatni szerencsés volt.

Hogy a szükséges szapora váltakozást és magas feszültséget előállítsa, Tesla két különböző módhoz folyamodik. Az egyiknél egy soksarkú dinamógépet használ és ezzel direkt módon oly áramot állít elő, mely másodpercenként 15.000 egészen 25.000 váltakozással bír. E szám, noha roppantul meghaladja a mai gépeknél szokásos 100 egészen 200 váltakozást, még meg sem közelíti a Hertz-kísérleteinél megvalósítottakat. A használt dinamógép tárcsa alakú és főalkatré-

szét egy 81 cm átmérőjű és csupán két és fél centiméter széles induktor-gyűrű képezi, mely 384 egymással váltakozó északi és déli sarkú elektromágnezt hord. A gép sebessége 2000 egészen 3000 fordulat-számnak felel meg percenként. Az általa szolgáltatott áramnak erőssége körülbelül 10 ampèr. Ezen áram egy a géppel kapcsolt kondenzátorral áll összeköttetésben és egy transzformátoron halad át, mely a szükséges magas feszültségű áramot szolgáltatja. (...)

Kísérleteinek első részét Tesla az első eljárás szerint előállított 25.000 váltakozású árammal végezte és pedig a következő három kísérletet mutatta be:

Jobb kezébe vett egy 1 m hosszú üvegcsövet és bal kezével megfogta a transzformátornak egyik sarkát. A mindkét végén beforrasztott cső, melyből a levegő ki volt szivattyúzva, egyszerre egész hosszában ragyogni kezdett. Az elektromos energia, mint látjuk, a kísérletező testén keresztül jutott az üvegcsőhöz. Az áram, mely ily módon rajta keresztülment, a roppant feszültség dacára, mint fölemlíté, csupán gyenge szúrás érzését idézte elő bal karjában. E gyenge fiziológiai hatásnak oka a váltakozások óriási számában rejlik. Oly áram, mely százszorta kisebb feszültség mellett is képes lenne egy embert agyonütni, ha a váltakozások száma a néhány százat nem haladja meg másodpercenként, teljesen ártalmatlanná válik, mielőtt szapora váltakozásúvá lesz.

A második kísérletnél ugyanazon transzformátornak egyik sarkát kapcsolatba hozta egy ritkított levegőjű üveggömbbel, melyben egy apró fémgolyó volt megerősítve. Az összeköttetést a sarok és ezen fémgolyó közt guttaperchával bevont egyszerű vörösrézszodrony létesítette. Noha a transzformátor másik sarka elszigetelten maradt, a fémgolyó fényleni kezdett az üveggömbben, mely utóbbi teljes üregében intenzív fényűvé vált, mielőtt a kísérletező tenyerét felülről reáhelyezte. A kéz ugyanis ez esetben a szapora váltakozások folytán már elég hatásos kondenzátorlapot alkot. Még feltűnőbbé vált e tümenény, midőn Tesla a gömb fölé egy fémből készült lámpaernyőt erősített meg. Ezen ernyő közelítése vagy távolítása által az így rög-tönzött lámpának fényerősségét tetszés szerint változtatni lehet.

A harmadik kísérlet tulajdonképpen ismétlése egy már Crookes híres angol fizikus által ismertettnek azon különbséggel, hogy Crookes-énél mindkét sarok, a Tesla-féléknél pedig csupán az egyik sarok jött kapcsolatba a ritkított levegővel. E kísérlet abban állott, hogy egy izzó lámpaüveg, melyből a levegő egészen tízmilliomod atmoszféranyomásig ki volt szivattyúzva, és amely egy darabka faszén által képezett egyetlen sarokkal bírt, vakító fényűvé vált, mielőtt a szaporaváltakozású áramokat szolgáltató dinamógép mozgásba hozott. (...)

Éppoly meglepő hatású, de könnyen megmagyarázható volt az említett világítási kísérlet. Ugyanis Tesla a kísérleti asztal fölé egy fémernyőt erősített meg és azt kapcsolatba hozta a szapora-váltakozású áramot szolgáltató készüléknek egyik sarkával, míg a másik sarkot a földdel kötötte össze. Ennek következtében az ernyő alatti térben roppant intenzív elektromos erőmérő keletkezett és mihelyt egy másfél méter hosszú, ritkított levegőjű üvegcsövet vezetett a térbe, az azonnal egész hosszában ragyogni kezdett, akár csak egy lángoló kard. Mint Tesla kifejté, e kísérlet az elektromos világítás legtökéletesebb módjának csíráját foglalja magában, mert, mihelyt sikerülni fog szapora váltakozású áramokat tovavezetni, vagy ha ez a kérdés nem lenne megoldható, úgy mihelyt sikerülend ily áramokat egyszerű készülékek segítségével az alkalmazási helyen létesíteni, a legegyszerűbb módon elhelyezhető vagy befalazható ernyők segítségével elég intenzív elektromos mezőt leszünk képesek valamely teremben előállítani és egy egyszerű üvegcső, amelyből a levegő kiszivattyúztatott, helyettesíteni fogja mai lámpáinkat. Ez tényleg igen kényelmes módja lenne a világításnak, mert még a lámpákat sem lenne soha szükséges kicserélni, miután azokban misem kopnék. Ekként minden égési és így kémiai tűnemény mellőzésével direkt lehetne fénycsöveket létesíteni elektromosság segítségével.

Csak hogy egy nagy bökkenő van még ma a dologban. Ugyanis hogyan lehet oly óriási feszültség mellett, mint amilyenek Tesla kísérleteinél mindvégig alkalmaztattak, oly sugárzó energiát, mint a szapora váltakozású áramoké, gazdaságos módon továbbítani. Hiszen még ha közvetlenül a fogyasztás helyén állítanók is fel a Tesla-féle, vagy jobban mondva a Teslától tökéletesített Hertz-féle készüléket, úgy a sodronyból, ha még oly rövid lenne is az, kilenczted része az energiának kisugároznék, még mielőtt a világítási készülékbe jutna. Tesla, mint felemlíté, át van hatva a gondolattól, hogy előbb-utóbb sikerülni fog a sodronyokat oly hüvelybe zárni, mely az ily szapora váltakozású áramokkal szemben is elektromos ernyőt fog alkotni. A kiállítás az ily megoldásra eddig nagyon kevés. Ugyanis nem szabad elfelejtenünk, hogy az áramok szapora váltakozása épp úgy befolyik a hatás terének nagyobbítására, mint maga a potenciáldifferencia. Hogy csak egy példát említsünk, midőn két év előtt Joubert, a párizsi „Société Internationale des Électriciens” társaság laboratóriumában bemutatta a Hertz-féle kísérleteket, a létesített szapora-váltakozású áramok mágnestere áthatott az épület falain és oly messze terjedt, hogy az utcán az épület közelében az esti kísérletek idején két egymáshoz közelített rézpénzdarab között észlelni lehetett az elektromos szikrákat.

De azért nincs okunk kételkedni a szapora-váltakozású áramok

nagy jövőjében. Az elektromos tünetények alkalmazásai oly meglepő gyorsasággal fejlődnek és ez által annyira elkényeztetik a kortársakat, hogy, úgyszólván, már nem a kivitel lehetőségétől, hanem a kételkedéstől kell óvakodnunk. Tíz év előtt a váltóáramokról aránylag még igen keveset tudtak és ma már befészkelik azok magukat az elektromosság alkalmazásainak csaknem minden terére és nem lenne többé meglepő, ha valamely szerencsés feltaláló az elektrolízis kérdését is váltóáramok útján tudná megoldani.

Különben a szapora-váltakozású áramoknak az a tulajdonsága, hogy mágnes-terük igen messze terjed, nem hátrány, hanem inkább előny és már is léteznek proposíciók, melyek e tulajdonságot kiaknázni volnának hivatva. Így teszem a földalatti vezetékkel bíró tramvayk kérdésének igen elegáns megoldását nyújtáná az oly elrendezés, melynél a vezető sodrony teljesen el volna ásva a vonal mentén és a közegen keresztül juttatná el a hatást a kocsin lévő elektromotor transzformátorába. Ugyanily elektromos rezonancia-tünetény segítségével lehetne például a multiplex telefonia kérdését is megoldani, mellyel egyazon sodronyon lehetne egyszerre akárhány párbeszédet folytatni.

A részletek messze vezetnének bennünket. Nem tartjuk azonban feleslegesnek az eddig a szapora-váltakozású áramok terén elért legfőbb gyakorlati eredményre még egyszer reámutatni, arra ugyanis, hogy az ily áramoknak fiziológiai hatása csaknem semmi és így azok, bármily magas feszültséggel bírjanak is, az emberi testre nézve teljesen ártalmatlanok.

Ha egyéb nem, ez a következtetés bizton levonható Tesla örök-szép kísérleteiből.

\*

A párizsi és londoni Tesla-bemutatókon kevés magyar lehetett jelen, ezért a Matematikai és Fizikai Társulat 1893. évi januári ülésén Wittmann Ferenc ismertette és bemutatta a nagy feszültségű és nagy szaporaságú váltakozó áramok hatásait. „*Vége bemutatta Tesla-nak azt a kísérletét, melyben olajjal szigetelt transzformátor mintegy 100,000 volt feszültségű szikrááramot létesít, melynek élettani hatásai alig észrevehetőek*” – olvasható a 'Természettudományi Közlöny'-ben.<sup>76</sup>

<sup>76</sup> Wittmann Ferencz ismertette és bemutatta a nagy feszültségű és nagy szaporaságú váltakozó áramok hatásait. = Természettudományi Közlöny 25 (1893) p. 208.



## A távolhatásról

Áttekintve a magyar nyelvű ismeretterjesztő és szaksajtót azt találjuk, hogy a Hertz kísérletekig a Maxwell elméletről érdemben nem esik szó. 1888 után a Hertz kísérletekkel kapcsolatban többnyire elhangzik Maxwell neve, de elméletének részleteiről kevés szó esik. A következő években egymás után jelentek meg a témakör legjobb kutatóinak terjedelmes dolgozatai fordításban, többnyire a 'Mathematikai és Physikai Lapok'-ban. Elsőként a holland Drude értekezése '*A távolbahatásokról*'.

### P. Drude

#### A távolbahatásokról<sup>77</sup>

##### Az elektromos-mágneses hatások és a gravitáció részletesebb összehasonlítása

Mostanában elég általánosságban elfogadott nézet, hogy az elektromos-mágneses hatások tényleg közelhatásokból állanak. Ellenben a gravitációról legalább is nem állíthatjuk, hogy ez ki volna mutatva. Miben van a fajlagos különbség a tünetményeknek e két osztálya között?

Elsősorban előjelbeli különbségre gondolhatnánk: egyenlő nevű elektromos vagy mágneses töltések taszítják, különnevűek vonzzák egymást, míg súlyamérhető tömegek egymást, mindig vonzzák. Valóban úgy vélte Maxwell, hogy ebben a pontban akadályt lát a gravitációnak, mint közelhatásnak felfogására nézve. Miután kimutatta Maxwell az elektromágneses tér számára annak lehetőségét, hogy az energiát mint a tér egyes helyein localizáltat fogjuk föl, megmutatta, hogy a hatás különös előjele miatt a gravitáció energiájánál hasonló eljárás ahhoz a következtetéshez vezet, hogy az éternek szükségképpen roppant nagy energiája lenne zavartalan állapotban, vagyis a gravitáció terén kívül. Azonban az éternek megzavart állapotában, vagyis a gravitáció terén belül ennek az energiának kisebbnek kellene lennie. Úgy látszott, előtte, hogy ezt az eredményt elképzelni lehetetlen.

Mindazonáltal ezen eredmény számára az ütközésközvetítésen alapuló gravitációelmélet közvetlenül szolgáltat némi képzetet.

Az elmélet szerint az éterrészecskék roppant nagy sebességgel

<sup>77</sup> Forrás: Szabó Péter (ford.): A távolbahatásokról. P. Drude-tól. (Második és befejező közlemény). = Mathematikai és Physikai Lapok 7 (1898) pp. 72–76. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 72–96.)

A jelen közlésben – a régít módosítva – a távolbahatás helyett *távolhatás*, a közelbehátás helyett a *közelhatás* kifejezést használtuk (– a szerk. megj.)

röpködnek ide-oda. Ha súlyamérhető anyaghoz ütődnek, mozgási energiájuk csökken. Ezáltal keletkeznek a vonzási tünetmények két vagy több súlyamérhető test között. Valóban e szerint kellene, hogy súlyamérhető testek közelében, azaz a gravitáció terében az éter ropant nagy energiájában csökkenést szenvedjen. (Mindenesetre részeinek mozgási energiájából, mely egyedül jöhet tekintetbe a gravitációs hatásnál).

Ezek szerint az előjelbeli különbség még nem állapítana meg olyan nagy fajlagos különbséget egyrészt a gravitáció, másrészt az elektromos-mágneses hatások között, hogy az előbbieket nem foghatnók fel közelhatásokul, de igenis az utóbbiakat. Inkább azt a pontot vonhatnók ide, hogy az elektromos-mágneses hatások a körülvevő közegtől függenek, de a gravitáció nem, ama tünetmények ugyan kényelmesebben leírhatók közelhatási törvényekkel, mint a távolbhatás (a továbbiakban: távolhatás) törvényeivel, de ők maguk nem adnak támaszpontot ahhoz, hogy vajon a körülvevő súlya mérhető közeg polározódásán kívül nem működik-e valami elektromos-mágneses, csupán távolbható erő. Mindamellet Maxwell elő tudta állítani az elektro- és magneto-statikai erőket az egész térben, mint a feszültségi állapot egyik fajtát olyan képletekkel, melyek a rugalmasság elméletének mintájára vannak alakítva.<sup>78</sup>

Azonban ezek teljességgel nem szükségesek, azaz az összes tünetményeket, amelyek súlyamérhető testeken elektromos vagy mágneses térben észlelhetők, számítás alá vethetjük éppen olyan jól, sőt még sokszor közvetlenebb módon,<sup>79</sup> a súlyamérhető részek polározódása képzetének segítségével, vagy röviden: a régi elmélettel.

Csupán akkor mutatkozik a mérő távolhatás elégtelensége elektromos-mágneses hatásoknál, ha időben igen gyorsan változó állapotokat veszünk tekintetbe. Ellenben ezt nem állíthatjuk a gravitációra nézve, talán abból az okból, mivel itt időbeli változó állapotok csak súlyannérhető tömegek relatív mozgása által teremthetők (és nem mint az elektromosságnál az úgynevezett súlyamérhetetlen töltések mozgása által). Amaz pedig nem történik elég gyorsan, vagy kísérlettel nem valósítható meg.

Helmholtz kimutatta olyan kísérlettel, amelyet a mágneses tér-

<sup>78</sup> Mindamellet fajlagos különbségek vannak eme képletek és azok között, amelyek valamely isotrop rugalmas közeg magaviseletére érvényesek. E. Belthami mutatta ki, hogy csak igen-igen ritka esetekben tekinthetők ezek a Maxwell-féle feszültségi állapotok úgy, mint isotrop rugalmas közeghez tartozók.

<sup>79</sup> Sőt gyakran hibák is keletkeznek a Maxwell-féle feszültségi képletek alkalmazásával, ha közvetlenül azonosítjuk azt a nyomást, amely elektro- vagy magneto-statikai térben súlyos test felületére hat, azzal, amelyet az éter, Maxwell szerint, reá gyakorol. (Így pl. Poincaré 'Électricité et Optique' I.-ben is.)

ben forgó vezető felületén képződő elektromossággal tett, hogy az elektromos polározás elektromos mozgás, amelynek intenzitása és elektrodinamikusan hatása egyenlő értékű azzal az árammal, amely a vezetőnek illető darabját megtöltötte. Ezt a kísérletezést Helmholtz Faraday emlékbeszédében kifejezetten mint a Faraday–Maxwell-féle elektromos elmélet javára döntőt említi.

Tényleg, mivel Helmholtz kísérletében a körülvevő levegő jelenléte csak mellékes dolog és mivel annak éppen úgy kellett volna vácuumban is sikerülnie, ebből a kísérletből arra következtetünk, hogy egy súlyamérhető test elektromos töltésének változásakor a körülvevő vácuumban is jönnek létre állapotváltozások. Ilyen magatartás közelható erők föltevésére indít.

Valószínűleg ez a kísérlet mutatta ki először tapasztalati úton a Maxwell-féle úgynevezett eltolódási áramoknak létezését. Tisztán elméletileg is kiadódik szükségességük, ha Maxwell alaptételéhez tartjuk magunkat: „csakis zárt áramok léteznek”.

Ezt az alaptételt levezethetjük tisztán az elméletből is. Jelezni akarjuk ezt itt, mert ez a tétel a leglényegesebb alapkőve Maxwell elméletének. Ha két, elektromossággal töltött vezetőt kisütünk őket dróttal kötve össze, akkor ebben mindenesetre időbelileg igen gyorsan változó áram folyik. Vegyünk szemügyre valamely rövid időpillanatot, amely alatt az áramot állandónak tekinthetjük. Valamely mágneses sark, ha a drót körül  $C$  zárt görbén visszük, zérustól különböző pozitív vagy negatív munkát fog végezni.

Ez a munka, Stokes tétele alapján, mindig kifejezhető egy integrállal olyan  $S$  felületre kiterjesztve, amelyet  $C$  görbe szegélyez. Ennek az integrálnak az elemei a mágneses erő örvény-componentensei, azaz olyan mennyiségek, amelyek a térnek ama helyein különböznek a zérustól, amelyekben a mágneses erőnek nincsen potenciálja. Ebből hát szükségképpen következik, hogy bármilyen módon szerkesszük az  $S$  felületet, mindig metszeni fogja a mágneses erőnek legalább is egy örvényhelyét, mert különben a  $C$  görbe-menti munka nem lehetne a zérustól különböző. Ezért a mágneses erő örvényhelyei mindig gyűrűsen záródnak a (zárt) mágneses erővonalak körül. Ha tehát megengedjük azt a tételt, hogy a mágneses erő minden örvényhelyét olyanul jegyezzük, amelyen át elektromos áram folyik, úgy be van bizonyítva az a tétel is, hogy csupán zárt áramok léteznek. Azonban ha tagadjuk ezt a tételt, akkor egyik szükségképpen következés, hogy legalább a vácuumnak egyes helyein, amelyek az elektromos áram átfolyta helyeken kívül fekszenek, a mágneses erőnek nincsen potenciálja. Olyan tétel, amelyet még egyetlen elektromos elmélet sem állított fel eddigéig, és valószínűleg aligha fog valamikor felállítani.

Az elektromosságnak Maxwell-féle közelhatási elmélete igen lé-

nyeges kísérleti megerősítést talált a Hertzről végzett kísérletekben, amennyiben ki lőn mutatva az elektrodinamikai és az elektroinductió hatások véges terjedési sebessége. Már fennebb hangsúlyoztuk, hogy merő távolhatásnak nem lehet véges terjedési sebessége. Viszont, ha valamely hatásról kimutatjuk, hogy terjedési sebessége véges, ez csakis úgy gondolható, hogy a térben, amelyben a hatás tova terjed, bizonyos állapotváltozások jönnek létre, vagyis a hatás közvetített.

Analóg módon, amint a súlyamérhető testeknek dielektrikum viselkedésük leírására tesszük, a vacuumnak mindenesetre azt a képességet kell tulajdonítanunk (ama Hertz-féle kísérletek szerint), hogy elektromos térben polározódik, mivel a levegő jelenléte azoknál a kísérleteknél lényegtelen. Csak még az kérdéses, vajon az éter polározódását közvetített hatáson kívül nem marad-e fenn merőben elektromos távolhatás számára valami maradék. Mivel véges terjedési sebessége nem lehet, abban kellene neki mutatkoznia Hertznek a levegőben álló elektromos hullámokon tett kísérleteinél, hogy megakadályozná tökéletes csomóknak, azaz a hatás teljes zérus helyeinek létrejöttét. Azonban, mivel tökéletes csomókat soha nem kaphatunk, már azért sem, mert a rezgések időbeli csillapodását kísérletileg soha el nem lehet kerülni, nem nyerhetünk ebből kísérleti segédeszközt valamelyes távolhatásoknak kiküszöbölésére. De igenis sikerül ez az utóbbi, ha ama Hertz-féle kísérleteknél megmérjük szám szerint pontosan a hatás tovaterjedésének sebességét (szabad levegőben és nem fémdrótok mentén). Ha éppen pontosan az elektrostatikusan mért elektromos tömegegységnek az elektromágnesesen mérthez való viszonyát,  $v$ -t nyerjük ezen sebesség számára, akkor a számítás azt adja ki, hogy az a legáltalánosabb Helmholtz-féle elektromos elmélet visszavezethető a Maxwell-féle. Azaz: akkor ki van zárva a tiszta távolhatásnak minden maradéka. Ebben rejlik az a nagy érdek, amely hozzáfűződik az elektromos hullámok levegőben való terjedési sebességének megmérése telt kísérletekhez. Az eddigi kísérletek szerint legalább is közel az a  $v$  viszonyszám adódik ki a terjedési sebesség számára. Úgy hogy ebben is további kísérleti erősséget láthatunk a Maxwell-féle közelhatási elmélet mellett.

A gravitációnál nem találunk olyan tényeket, amelyek egyenesen készítenének közelhatások föltételezésére. Ilyenek fölfedezésére számos kísérletet tettek, de mindeddig semmi, vagy föltötte kétséges eredménnyel. Azok számára, akiket kevésbé filozófiai, mint inkább gyakorlati princípiumok vezetnek, talán nagyobb érdekűek lesznek a gravitációnak valamely eddig ismeretlen viselkedésének fölfedezésére irányuló kísérletek, mint maguk a gravitációnak eddigi közelhatási törvényei. (...)

## Boltzmann 1900-as értekezése egykorú magyar kiadásban

Drude munkáját követte a Hertz-tanítvány, Boltzmann<sup>80</sup> értekezése 'Az elméleti physika módszereinek fejlődése napjainkban' címmel.

### Ludwig Boltzmann

#### Az elméleti physika módszereinek fejlődése napjainkban<sup>81</sup>

Az elektromosság és mágnesség terén a tények ismeretét Galvani, Volta, Oerstedt, Ampère és mások rengeteg módon tágitották, Faraday pedig azokat bizonyos tekintetben lezárta. Az utóbbi aránylag csekély eszközökkel az új tények oly bőségét derítette ki, hogy sokáig úgy látszott, mintha a jövő már csak mindezen fölfedezések magyarázatára és gyakorlati alkalmazására fog szorítkozni.

Az elektromágneses tűnemények okául már régen bizonyos elektronos és mágneses folyadékok vétettek föl. Ampère-nek sikerült a mágnességet molekuláris áramokkal megmagyaráznia s ezzel külön mágneses folyadékok fölvétele fölöslegessé vált, Weber pedig az elektromos folyadékok elméletét annyiban fejezte be, amennyiben azt úgy kiegészítette, hogy vele az elektromagnetizmusnak minden ismert tűneménye egyszerű módon megmagyarázhatóvá vált. E célból föltételezte, hogy az elektromos folyadékok éppen úgy felbonthatók legkisebb részecskékre, mint a ponderabilis testek meg a fényæther, s hogy az elektromos részecskék közt a többi anyagok részecskéi közt ható erőkhez hasonló erők hatnak, egyedül azt a különben lényegtelen módosítást tette, hogy a két elektromos részecske közt ható erők a részecskék relatív sebességeitől és gyorsulásaitól is függenek.

Míg tehát korábban a megtapintható anyagon kívül még egy hőanyagot, fényanyagot, két mágneses és két elektromos folyadékot stb. föltételeztek, most beérték a ponderabilis anyaggal, a fényætherrel és az elektromos folyadékokkal. Mindezen folyadékokat atomokból állóknak képzelték s a physika föladata az egész jövőre nézve abból látszott állani, hogy a két atom közötti távolhatás törvényét megállapítsa, s az ezen kölcsönhatásokból folyó összes egyenleteket a megfelelő kezdet föltételek alapján integrálja.

\*

<sup>80</sup> A neves osztrák fizikust 1900-ban az MTA külső tagjává választották (– a szerk. megj.)

<sup>81</sup> Forrás: Ludwig Boltzmann: Az elméleti physika módszereinek fejlődése napjainkban. Ford.: Bozóky Endre. (Első közlemény). = Mathematikai és Physikai Lapok 10 (1901) pp. 27–32. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 22–36.)



A fejlődésnek ezen a fokán állott az elméleti physika tanulmányaimnak kezdetén. Mennyire megváltozott azóta minden! Tényleg, ha mindezen kialakulásokra, felfordulásokra visszatekintek, akkor a tudományos téren tapasztalatokban megaggottnak tűnöm föl magam előtt! Sőt, azt merném mondani, hogy azok közül, akik a régít a maga egészében lelkükbe foglalták, egyedül én maradtam fenn, legalább is én vagyok az egyedüli, aki, amennyire még bírja, a régiért ki áll a harcmezőre.

Életem feladatának tekintem azt, hogy a régi klasszikus elmélet eredményeit lehetőleg tisztán, logice rendezetten feldolgozván, amennyiben erőmtől telik, hozzájáruljak ahhoz, hogy a sok jó és örökre használható, ami meggyőződéseim szerint benne foglaltatik, valamilyen ne legyen másodszor fölfedezendő, ami különben a tudományok terén nem volna éppen az első eset.

Így magamat önöknek mint reakciónáriust mutatom be, mint hátramaradottat, aki az újabbal szemben a régiért, a klasszikusért rajong; de azt hiszem, hogy az újnak előnyeivel szemben nem vagyok elzárkózott, nem vagyok vak. Ennek, amennyiben tehetem, előadásom további folyamán fogok igazságot szolgáltatni; mert jól tudom, hogy én is, mint mindenki, a dolgokat szemüvegem szubjektív színezésében látom.

\*

A jellemzett tudományos rendszer ellen az első támadás leggyöngébb oldalára, a Weber-féle elektrodinamikus elmélet ellen irányult. Ez úgyszólván virága a genialis kutató szellemi munkájának, ki az elektrodinamikus mértékrendszerek körül és számos más munkálataiba helyezett eszméi és kísérleti eredményei alapján az elektromosság tanában halhatatlan érdemeket szerzett. De elmélete éleselméjűsége és matematikai finomsága dacára annyira magán hordozza a mesterkéeltség látszatát, hogy mindenkor csak kevés lelkes híve hitt föltétlenül igazságában. Ezek ellen fordult Maxwell a Weber érdemeinek föltétlen elismerése mellett.

Maxwell munkálatai ránk nézve két szempontból veendőket tekintetbe:

1. a megismerés elmélete és 2. a physika szempontjából. Az elsőt illetőleg Maxwell az ellen óv, hogy egy a természetről alkotott nézetet csupán azért tartsunk egyedül helyesnek, mert következményeinek egy egész sorát a tapasztalat igazolta. Számos példán kimutatja, hogy a tünetmények egy csoportja gyakran két, teljesen eltérő módon magyarázható. A magyarázat, mindkét módja egyenlően jól képviseli a tüneténycsoportot. Az, egyiknek a másik fölötti előnye csak akkor

mutatkozik, ha a csoporthoz új, eddig ismeretlen tünetényeket csatolunk; de e mellett is, újabb tények megismerése után a jobbnak bizonyult magyarázat egy harmadiknak engedi majd át a teret.

Míg talán a régi klasszikus physikának nem annyira a megalkotói, hanem inkább a későbbi képviselői azt praetendálták, hogy annak segítségével a dolgok valódi természetét fölismerték, addig Maxwell a saját elméletét a természet oly képének, oly mechanikai analógiának kívánja tekinteni, mely jelenleg a tünetények összességét a legegységesebb alakban képes egybefoglalni. Majd meglátjuk, hogy Maxwellnek ezen állásfoglalása az elmélet további fejlődésében milyen hatásosnak bizonyult. Maxwell elméleti eszméit gyakorlati sikereivel azonnal diadalra vezette.

Láttuk, hogy annak idején az összes elektromágneses tünetényeket a Weber-féle elmélettel magyarázták, mely szerint az elektromosság oly részecskékből áll, amelyek minden közvetítés nélkül egymásra tetszésszerű távolságokból közvetlenül hatni képesek. Faraday eszméinek hatása alatt Maxwell egy éppen az ellenkező nézetből kiinduló elméletet állított föl. Eszerint minden elektromos vagy mágneses test csak egy az egész teret betöltő közegnek közvetlenül szomszédos részecskéire hat, ezek a közegnek ismét közvetlenül szomszédos részecskéire hatnak s így tovább, míg a hatás így a legközelebbi testig tovább terjed.

Az eddig ismert tünetényeket mindkét elmélet egyenlően jól megmagyarázta; de a Maxwell-féle elmélet a régit túlhaladta. Az első szerint, ha egyáltalán sikerül elegendő gyorsasággal lefolyó elektromos mozgásokat létesíteni, ezek a közegben oly hullámmozgásokat létesítenek, melyek a fényæther mozgásának törvényeit pontosan követik.

Maxwell ennél fogva sejtette, hogy a fénylő test részecskéiben állandóan rapid elektromos mozgások mennek végbe, és hogy a közegben ezek gerjesztik azon hullámmozgásokat, melyek a fényt alkotják. Így az elektromagnetikus hatásokat közvetítő közeg a korábban szükségelt fényætherrel válik azonossá, s így azt a nevet kaphatja, bár sok tekintetben más tulajdonságokkal kell azt felruháznunk, hogy az elektromagnetizmus közvetítésére alkalmassá váljék.

Hogy az eddigi elektromos kísérleteknél ily nemű mozgások mért nem voltak észrevehetőek, azt talán a következőképpen tehetjük beláthatóvá. Támasszuk lapos tenyerünket lassan merőlegesen egy nyugvó inga rúdjára, emeljük vele az ingát, a kezét arra felé mozgatóván, amerre az inga különce fekszik, majd mozgassuk kezünket ugyanígy vissza, s távolítsuk el az ellenkező irányban. Az inga, követvén a kéz mozgását, egy fél lengést végez, de nem leng tovább; mert a vele közölt sebesség igen csekély volt. Más példa! Az elmélet azt teszi föl, hogy a kifeszített húr csipkedésénél a húr egy pontja kimozdul egyensúlyi helyzetéből,

majd hirtelen az egész húr magára hagyatik. Én ezt tanulókoromban nem hittem el, s úgy vélekedtem, hogy a húrt csipkedő a húrnak még külön lökést is ad; mert ha a húrt ujjammal kitérítettem, s ujjamat hirtelen abban az irányban távolítottam el, amelyben a húrnak rezegnie kellett, a húr néma maradt. Nem jöttem rá arra, hogy ujjamat a húr rezgésének gyorsaságához képest sokkal lassabban távolítottam el, semhogy a húr mozgását föl ne tartóztattam volna.

Így az eddigi kísérleteknél az elektromos állapotok az elektromosság rengeteg nagyságú terjedési sebességéhez képest mindig aránylag igen lassan vitettek át másokba. Fáradtságos előzetes kísérletek után, melyeknek vezéreszméit a legelfogulatlanabban maga ismereti, végre Hertz bizonyos kísérleti föltételekre akadt, melyeknél az elektromos állapotok periodikusan oly gyorsan változnak, hogy megfigyelhető hullámok keletkeznek. Mint minden, ami genális, ezen körülmények is rendkívül egyszerűek. Ennek dacára itt ezen kísérleti részletekre nem terjeszkedhetek ki. A Hertz-féle, és kétségtelenül elektromos kisülések alkalmával keletkező hullámok, mint azt Maxwell előre jelezte, qualitative semmiben sem különböznek a fényhullámoktól. De mekkora a quantitativ különbség!

Miként a hang magasságát, úgy a fény színét a rezgésszám állapítja meg. A látható fényben a legszélső vörös 400 billió, a legszélső ibolyaszín 800 billió rezgésszámmal az extremákat adják. Már régen találtak hasonló ætherhullámokat, melyeknél a rezgésszám körülbelül 20-ad része volt a legszélső vörös rezgésszámának, illetőleg 3-szorosa a legszélső ibolyaszín rezgésszámának. Ezek a szemre nézve láthatatlanok; de az első, az ún. ultravörös sugarak hőhatásaik, az utóbbiak, az ún. ultraibolya sugarak kémiai és foszforeszkáló hatásaik folytán ismerhetők föl. A tényleges kisülésekkel Hertz oly rezgéseket állított elő, melyek másodpercenként csak 1000 milliószor ismétlődtek és Hertz követői ezen számnak csupán 100-szorosáig vitték.

Közvetlenül belátható, hogy az ilyen, a fényrezgésekhez képest aránylag lassú lefolyása rezgések a szemre hatással nem lehetnek. Hertz azokat mikroszkopikus kicsinységű szikrácskákkal mutatta ki, melyek ezen rezgések folytán nagy távolságokban álló, alkalmas alakú vezetőkből is létesíttetnek. Ily eszközökkel Hertz a Maxwell elméletét legkisebb részleteiben is igazolta és bár megkísérlették a távolbahatás elmélete alapján rezgéseket előállítani, mégis Maxwell elméletének túlsúlya csakhamar senki előtt sem volt már kétséges, sőt, valamint az ingák a nyugalmi helyzetén túl a másik oldalra is kitérnek, végre az ultrák a régi klasszikus physika elméleteinek összes nézeteit elvetették. De erről később! Egyelőre még ezen fényes fölfedezéseknél akarunk időzni.

A Hertz vizsgálatait megelőző időkben ismert ætherhullámok némely faja ezen, más faja más testekben megy át könnyebben. Így pl. a timsónak vízőldata az ultravörös sugarak kivételével az összes látható fényt átbocsátja; ellenben a látható fény tekintetében teljesen átlátszatlan szénkéneges jóddal azokat könnyen átbocsátja.

A Hertz-féle hullámok majdnem minden testen áthatolnak, a fémek és elektrolytek kivételével. Ha tehát Marconi az egyik helyen igen rövid Hertz-féle hullámokat létesít, és egy sok kilométernyire fekvő másik helyen egy a Hertz-féle hullámok szemének nevezett készülék alkalmas módosításával azokat Morse-féle jegyekké alakítja át, akkor ő pusztán optikai távirót létesített; csak hogy a másodpercenként körülbelül 500 billió rezgést tevő hullámokat 1/10 billió rezgésszámú hullámokkal helyettesítette. Ennek az az előnye, hogy azon hullámok ködön, sőt kőzeteken is képesek áthatolni.

\*

Aki olvasta a hazai folyóiratokat, az a XIX. és XX. század fordulóján már világos képet alkothatott a maxwelli elektrodinamikáról. A siker nem volt átütő, hiszen a 'Természettudományi Közlöny' *Apróbb Közleményeiben* Heller 1899-ben a helyzetet ismerő könyvtárosként arról tudósított, hogy „*Hazai irodalmunkban olyan munka, mely az elektromossággal a rezgési elmélet alapján foglalkoznék, nincs. Német nyelven tárgyalják e kérdést a következő művek: ... Ludwig Boltzmann: Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes*”.<sup>82</sup> Amiből kiolvasható, hogy az angol nyelvű közlemények általában német közvetítéssel voltak elérhetők.

\*

Egy lényegesen új szemléletmód nem a kortársak meggyőzésén keresztül érvényesül, hanem azok kihalásával foglalja el az őt megillető helyet. Az 1871-ben született Mikola Sándor számára a Maxwell-elmélet volt a természetes, ami előtte volt, az a fizika történetéhez tartozik.

<sup>82</sup> Vö.: Heller Ágoston közleményével.

## Mikola Sándor a Maxwell-elméletről



Mikola Sándor

Az Evangélikus (Fasori) gimnáziumba egy éve kinevezett tanár a Matematikai és Physikai Társulat 1899 novemberi ülésén átfogó előadást tartott 'Az elektromágneses tér hatása a fényre' címmel: „Önök előtt nagyon ismeretes, hogy a fényelmélet, melyről már-már azt hittük, hogy végleg megállapodott tudomány, Maxwell merész újítása folytán egészen új alapot nyert, melyen az elméletet újból fel kellett építeni.” Mikolánál a Maxwell-elmélet a magától értetődő kiindulás, a cél a századforduló – mindenek előtt a spektroszkópiát érintő – nagy eredményeinek rendszerbe foglalása: „A fény és elektromágneses jelenségek kölcsönhatásának ily messzemenő következményei lehetnek. Ha a fenti spekuláció beválik, úgy a bölcsek kövének gondolatát a spektroszkóp valósítja meg.”

### Mikola Sándor

#### Az elektromágneses tér hatása a fényre<sup>83</sup>

Az a tárgy, mellyel foglalkozni fogunk, összekötő kapcsot képez az emberi tudás két fontos ága: az elektromágnességre és a fényjelenségekre vonatkozó ismereteink között. Önök előtt nagyon ismeretes, hogy a fényelmélet, melyről már-már azt hittük, hogy végleg megállapodott tudomány, Maxwell merész újítása folytán egészen új alapot nyert, melyen az elméletet újból fel kellett építeni. Ez a munka részben már megtörtént, részben most van folyamatban. Ismeretes az is, hogy míg a régi elmélet a fényrezgéseket az æther rugalmas erőivel magyarázta, addig az új elméletnek alapja Maxwell ama nézete, hogy a világító testek részecskéiben *elektromos mozgások* szakadatlan sora megy végbe és hogy az ezektől a térben keltett hullámzások – szintén

<sup>83</sup> Forrás: Mikola Sándor: Az elektromágneses tér hatása a fényre. = Matematikai és Physikai Lapok 9 (1900) pp. 76–77. (A teljes tanulmány terjedelme: pp. 76–97.)



elektromos természetű mozgások – hozzák létre azt a jelenséget, melyet fénynek nevezünk.

Első pillanatra úgy látszik, hogy ez az elmélet a régihez képest visszaesést jelent. Visszaesést, mert oly jelenségcsoporthoz, melyről elég határozott – bár csak hypothetikus képzeink voltak, oly jelenségcsoporthoz igyekszünk megmagyarázni, melyről szóló képzeink ez ideig bonyodalmasabbak, ingadozóbbak és határozatlanabbak. Az æther rezgéseinek mechanikájába már-már beletörődtünk s róluk szinte jól eső nyugalommal beszéltünk s most e biztos alapot el kellett hagynunk, hogy az elektromos mozgások, eltolódások és kölcsönhatások szövevényes s határozatlan gépezeteihez térjünk át.

Ha az egész újítás csak ennyiből állt volna, akkor a visszaesés vádjá jogosnak volna mondható. De Önök jól tudják, hogy az újítás nem állapodott meg itt, hanem a régi elektromos elméletet is hatalmas arányokban változtatta meg. Az elektromos fluidumokat kiküszöbölte, a távolba ható erők helyébe behozta a pontról-pontra, közegről-közegre tovaterjedő hatást. Ezek alapján a vezetőkről, szigetelőkről, az áramról, az áram munkájáról s az energia átalakulásának módjairól szóló fogalmaink is gyökeres változást szenvedtek. Ismeretes továbbá az is, hogy épen ez az új elmélet mily fényes kísérleti tények és felfedezések létrehozására adta meg az első impulzust. Hertznek 1887-ben megjelent első dolgozata óta a legváltozatosabb s úgy tudományos mint gyakorlati jelentőségű kísérleti tények egész sora, továbbá óriásan megnövekedett szakirodalom ez elmélet kísérleti kihatását hirdeti.

Az új felfogás tehát termékeny, produktív hatású volt, de megvolt másrészt az a nagy előnye is, hogy az emberi elme egységesítő munkáját egy nagy lépéssel vitte előre. Ez elmélet álláspontján az elektromos, mágneses és fényjelenségek tökéletesen *azonos* tünetek; nem *qualitativ*, csak *quantitativ* különbségek merülnek fel közöttük. Valamennyien két alapfeltétellel magyarázhatók meg, melyeknek egyike az anyag legkisebb részecskéire, a másika pedig az ætherre vonatkozik. E két *suppositio*, melyekről később szó lesz, elégséges ahhoz, hogy két igen kiterjedt, eltérő jelenségcsoporthoz egy közös magaslatról tekinthessünk át.

Így állván a dolog, nem csoda, ha a legnagyobb érdek fűződik mindama kísérleti tényekhez, melyek a két jelenségcsoporthoz kölcsönhatásait mutatják. Nem számosak e tények, nem meglepők, de annál tanulságosabbak. A jelen előadásnak célja rövid referátumot nyújtani főképpen ama kísérleti tényekről, melyek a két utóbbi év, 1897 és 1898 alatt jöttek létre és pillantást vetni amaz elméleti megfontolásokra, melyek rájuk vonatkozólag tehetők. (...)

1901-ben Mikola az érdeklődő nagyközönségnek magyarázta el a maxwelli elmélet szerepét és jelentőségét. A 'Természettudományi Közlöny'-ben 1901-ben megjelent terjedelmes cikkében 'A fizikai elméletek köréből' leírja,<sup>84</sup> hogy nyilvánvaló igazsága ellenére miért váratott olyan sokáig magára az elfogadás: „Faraday fölfogását nagy tanítványa, Maxwell építette tovább és igen nevezetes következtetésekre jutott, melyeket híres könyvében tett közzé (1862). E könyv 25 évig alig tett hatást a korabeli fizikusokra, részben azért, mert igen szokatlan és nehéz matematikai analízist használt, részben meg azért, mert következtetései igen merésznek látszottak. Azonban 1867 óta az újabb fizikai elméletek e könyvben találják legfőbb forrásukat.”<sup>85</sup>

Mikola Maxwell tanaiban a fizika általános módszertanát ismeri fel: „Ő kidolgozta az elektromos perturbációk tovaterjedésének fizikáját, sőt tisztán elméleti úton a sebességet is megállapította; azután merész ugrással a fény és az elektromos jelenségek azonosságát hirdette. ... Látjuk azt az óriási hasznát, melyet a fizikai elméletek nyújtanak. Irányt és eszmét adnak új, ismeretlen jelenségek felkutatására. Az elmúlt évtized kísérleti eredményeinek jókora része abból a forrásból ered, melyet Maxwell nyitott számunkra.”<sup>86</sup>

#### **Péché Aladár 1909-ben az elektromágnesség elméletéről**

Péché Aladár (1873–1949) szintén matematika-fizika szakos tanár volt; később ő lett a középiskolai tanulmányi verseny (nem az Eötvös-verseny!) egyik szervezője és vezetője fizikából. Az ezerkilencszázas évek elején világos felépítésű cikkeket jelentetett meg a 'Középiskolai Matematikai Lapok'-ban a Segner kerékről, Jedlik elektromágneses gépéről, néhány hőtani kérdésről. Ugyanitt jelent meg kétrészes cikke 'Az elektromosság fizikai elmélete' címmel, amelynek 1909 márciusi második része 'A Faraday–Maxwell elmélet' alcímet viseli. Érdekes ezt a néhány oldalt átolvasni, hogy lássuk, a fizika iránt érdeklődő gimnazisták milyen eligazítást kapnak Maxwell elméletéről majd ötven évvel annak megalkotása után. A Faraday–Maxwell elméletet elismerő szerző a cikk végén hiányérzetét hangsúlyozza: „A Faraday–Maxwell hipotézis első sorban kísérleti tényeken épült fel; magyarázataiban azonban lassanként nagyon komplikált lett, különösen igen bonyolódottakká váltak az éther szerkezetére vonatkozó feltevései.”

<sup>84</sup> Mikola Sándor: A fizikai elméletek köréből. = Természettudományi Közlöny 33 (1901) Pótfüz. No. 2. pp. 68–77.

<sup>85</sup> Uo. p. 71.

<sup>86</sup> Uo. p. 72.

## Péché Aladár

### Az elektromosság fizikai elmélete

#### A Faraday–Maxwell elmélet<sup>87</sup>

A fizikának régi törekvése, hogy az összes, körébe tartozó jelenségeket mechanikai alapon magyarázza meg. Erre gondolva, beláthatjuk, milyen nagy fontosságú – éppen a jelenségek megfejtésének szempontjából – az erő fogalmának megállapítása. A nélkül, hogy nagyon elmélyedhetnénk a dolog lényegébe, jusson eszünkbe, hogy e kérdésre: »mi az erő?« a fizika végleges feleletet nem tud adni. Ismeretesebb az erő különféle hatásai; ezeket megmérve, következtetni lehet a létrehozó erő nagyságára; de, hogy tulajdonképpen mi az erő, honnan származik, nem tudjuk megmondani. Érthető tehát, hogy e kérdésekre adott s világosan hipotétikus feleletek az idők folyamán különbözőek.

A XIX. század elején a fizika még mindig teljesen Newton gondolkodásának befolyása alatt állott. Ismét csak felszínesen említhetjük fel, hogy ezen fizika minden jelenség végokának az erőt tartotta. Az anyag részecskéi bizonyos, úgynevezett primitív erőknek (gravitációs, elektromos, mágneses stb.) székhelyei, amely erők hatásokat gyakorolnak más testek részecskéire s e hatások létrejövetelében a közbeeső médiumnak semmi szerepe sincs. Például a gravitációs erő következtében valamely test vonzást gyakorol egy másikra s ez a hatás a két test között lévő médiumnak minden közreműködése nélkül jön létre. Ezen »actio in distans« fogalmát uralta minden fizikai kutatás.

Előre bocsátottuk ezeket, hogy egész fontosságában láthassuk a különbséget, mely Faraday felfogását jellemezte. Az ő alapgondolata ezen »távolba ható erők« tagadása volt. Szerinte az erő közvetve fejt ki hatását, azaz úgy, hogy van valami médium, amely ezen hatást tovább adja. Azon helyről, ahol az erő működik, ún. erővonalak indulnak ki, melyek a tér minden pontjában sűrűségük és irányuk által jellemezhetik az erőnek azon pontban meglévő intenzitását és irányát. Ha tehát elképzelünk oly pontot, mely mindig a reá ható erő irányában mozog, ennek pályája megadja az erővonalat.

Faraday-nak már első fizikai tárgyú értekezésében feltűnik az

<sup>87</sup> Forrás: Péché Aladár: Az elektromosság fizikai elmélete. (II.) A Faraday–Maxwell elmélet. = Középiskolai Matematikai Lapok. Vol. 16. (1909) No. 8. (március) pp. 177–181. – E közlemény első részét lásd: Péché Aladár: Az elektromosság fizikai elmélete. (I.) = Középiskolai Matematikai Lapok. Vol. 15. (1908) No. 9. (április) pp. 217–223.

erővonalak gondolata, amely azután mind határozottabb alakot önt annyira, hogy ezen – eleinte inkább csak a könnyebb megértés céljából alkotott segédfogalomnak utolsó munkáiban határozott fizikai lételt tulajdonít. Ezt a tudományos fejlődést s Faraday egész működésének tervszerű, egymással összefüggő egymásutánját annyira tanulságosnak tartom, hogy felhívom azoknak figyelmét, kikben megvan és megmarad az érdeklődés a fizika iránt, e tudomány történetét tárgyaló munkák megfelelő fejezeteire.

Az indukció jelenségének felfedezésével kezdődik Faraday fizikai munkáinak sorozata (1831-ben). E kérdéssel foglalkozó dolgozataiban kifejti, hogy ha elektromos áram halad egy drótban, e körül a drótra merőleges síkban gyűrűalakú erővonalak keletkeznek, teljesen analóg azokhoz, melyek két, egymással szemben álló, ellenkezőnevű mágnes-pólus közt jönnek létre. Ha e dróthoz, vele párhuzamosan, egy másikat közelítünk, vagy a mágnes-pólusok közt bizonyos irányban vezető drótot mozgatunk, ez mozgása közben erővonalakat metsz át s ennek következtében mindkét esetben indukált áram fog létrejönni.

Határozott formában nyilvánul meg új felfogása azon értekezésében, melyekben az elektromos és kémiai erők egymásra vonatkozását veszi tárgyalás alá. Ismerjük az elektrolízis jelenségének lényegében az ő kísérletein alapuló magyarázatát s így itt csak azt a gondolatát hangsúlyozzuk, hogy az áram hatását a folyadékokra nem a pólusok vonzó vagy taszító – mindenképpen távolba ható – ereje hozza létre; tehát nem ilyen külső erők, hanem a felbomló test belső erői működnek; vagyis a hatás egyik részecskétől a másikig, a «közvetve ható erők» módjára terjed.

Az új nézet helyességének igazolására döntő kísérleteit az elektromos influenza részletes megvizsgálásával végzi el (1838-ban), mint amely elektromos jelenség legszembetűnőbben fogható fel távolba ható erők hatásának. Faraday szerint az »actio in distans« csakis egyenes vonalban történik; ha valamely erő hatása görhevonalú pálya mentén terjed, az már csak közvetett úton történhetik. A következő két szempontból vizsgálja meg tehát a jelenséget: 1. lehet-e kísérleti igazolását adni annak, hogy az influenza görbe vonalban terjed? 2. van-e valami befolyása a jelenségre a vezetőit közt levő médiumnak (dielektrikum)?

Az első kérdést illetőleg többféle változatban végezte a kísérleteket. Így egyik elrendezésnél sellak-hengert dörzsöléssel elektromossá tett s föléje kis távolságban kerek fémlapot tartott; a próbagolyó, mellyel az indukció által létrehozott töltést a Coulomb-mérleggel megvizsgálta, közvetlenül a fémlap közepe mögött – mely éppen a sellak-henger fölött volt – nem mutatott töltést, ellenben akkor igen, ha messzebb helyezte a fémlaptól, vagy annak szélé felé tette. A másik

kérdés megvizsgálásánál használt eszköze a leydeni palackhoz hasonlított; a különbség főleg abban nyilvánult, hogy a fegyverzetek közt lévő szigetelő réteget kicserélhette. A különböző szigetelők alkalmazásakor előállott töltéseket az előbb említett módon megvizsgálva, megállapította, hogy ezeknek erőssége függ a szigetelő médiumtól.

E kísérleti eredmények teljesen biztos alapot adtak a közvetve ható erőkre vonatkozó állításnak, úgy hogy Faraday, kiegészítve ezeket az összes elektrosztatikai jelenségek megvizsgálásával, határozottan kimondhatta, hogy ezek mind az elektromos erő közvetett hatása által jönnek létre.

Igazolható-e az új elmélet a mágneses erőkre s a dinamikai elektromosságra nézve is kísérletileg? E két kérdés föltétlen eldöntésre várt. Az elsöre a feleletet még Faraday adta meg, mikor 1846-ban fölfedezte a testek diamágneses és paramágneses tulajdonságait, megállapítva, hogy megfelelő erős elektromágnes sarkai közé helyezve a testeket, ezek a mágneses erővel szemben különféleképpen viselkednek. A másik kérdésre a kísérleti választ a tudomány jóval később kapta meg, mikor u. i. 1887-ben Hertz megállapította az elektromos hullámok létezését.

Az eddigiekben, előadva Faraday felfogásának lényegét, iparkodtam kiemelni a fontosabb kísérleti momentumokat, melyek az új nézet kifejtésében s biztos megalapozásában lényeges szerepet vittek. Az elmélet részletes kidolgozása, szigorú matematikai felépítése Maxwell-nek érdeme (1855–1873).

A Faraday–Maxwell elméletet főbb vonásaiban következőleg állítjuk össze.

Ha valamely elektromossággal megtöltött test közelébe egy másik, kis elektromos testet helyezek, vagy valamely mágneses test közelébe egy kis mágnes-pólust, akkor a jelentkező elektromos, illetőleg mágneses erő egy: bizonyos irányban taszító, vagy az ezzel ellenkező irányban vonzó hatást fog kifejteni a szerint, hogy a kis elektromos testben a másikéval egyenlő vagy ellenkező elektromosság van – illetőleg a kis, mágnes egyenlő vagy ellenkező pólusa kerül a hatás alá. A térnek minden pontján át úgy vonhatunk egy vonalat, hogy az mindig megadja az abban a pontban jelentkező erő irányát; ez a vonal az erővonal. Megvonva az elektromos, illetőleg a mágneses testből kiinduló összes erővonalakat, ezek a teret teljesen befogják tölni. Ezen erővonalak úgy szerkeszthetők, hogy sokaságuk megadja az erő nagyságát.

Az elektromos és mágneses erők hatása a testeket elválasztó médium közvetítésével terjed; ez a közeg az éther. Az éther szerkezetére és az elektromos jelenségek mechanikai lefolyására több modell vagy szerkezet gondolható ki. Sőt, maga Maxwell megmutatta, hogy ha egy ilyen modell megfelel, akkor végtelen sok más is kigondolha-

tó. Egy ilyen modell és működésének vázlatos leírása itt következik. A médium gömbölyded molekulákból áll, melyek az erő hatása alatt bizonyos sebességű »örvénylő mozgás«-t végeznek, mely mozgások tengelyei paralelek az erővonalakkal. Ha szemünkkel azon irányba nézünk, melyben a mágnes északi pólusa vonzást szenved, akkor az örvénylés az óramutató járásával megegyező értelemben történik. Ezen örvénylés következtében a médium bizonyos mechanikai kényszerállapotba kerül, mely az erővonalak iránya mentén bizonyos feszültségben, az erre merőleges irányokban pedig vele egyenlő nyomásban nyilvánul. E viszonyok analógiája gyanánt szerepelhet két, egymást taszító testet összekötő fonál feszültsége, vagy olyan rúdnak összenyomása, mely két, egymást vonzó testet választ el egymástól.

Az »örvénylő molekulák«-at egymástól másfajta molekulák választják el, melyek forgásának iránya az előbbiekével ellenkező; a mechanikai analógia ezeket az ún. frikciós kerekéhez hasonlítja. Minden örvénylő-molekula a vele szomszédos »súrlódó molekulák«-t a magáéval ellenkező irányú mozgásba hozza; ezáltal az ezzel szomszédos örvénylő molekulák mozgásának iránya az előbbiével meg fog egyezni. Ezen súrlódó molekulák képviselik az elméletben az elektromosságot; ezeknek bizonyos irányban való továbbmozgása elektromos áramot hoz létre, míg forgásuk az örvénylő molekulák mozgását terjeszti tovább a médiumban. A mozgás ezen terjedése következtében nyomás fog fellépni a tangens irányában; az így jelentkező nyomó erő az elektromotoros erő.

Ha valamely vezetőben elektromos áram halad, akkor a vezető felületével érintkező súrlódó molekulák forgásnak indulnak s egy-szersmind az áram irányával megegyezően tovább haladnak; forgásba jönnek tehát a már elmondottak szerint az örvénylő molekulák is. E forgás az egymással érintkező örvénylő és súrlódó molekulák révén tovább terjed a térben s így a vezető drót körül koncentrikus örvénygyűrűk fognak keletkezni.

Ezen örvénygyűrűk terjedésük közben egy másik, önmagában zárt vezetőhöz érkeve, ennek felületével érintkező súrlódó molekulákat ellenkező irányú mozgásba hozzák, amikor is e vezetőben áram, az indukciós áram fog létrejönni. Amint bizonyos idő múlva e második vezető körül is kifejlődnek az örvénygyűrűk és forgásuk sebessége egyenlő lesz az első drót gyűrűjével, akkor ez utóbbi vezetővel szomszédos súrlódó molekulák haladó mozgása, vele együtt a vezetőben az indukált áram is, meg fog szűnni!

Amint az első vezetőben az áram megszűnik, a hozzá tartozó gyűrűk örvénylése szintén rendre meg fog szűnni s így a második vezető súrlódó molekuláit egyfelől nyugvó állapotban levő, másfelől még forgó örvénylő molekulák fogják körülvenni. Ennek következté-



ben ez utóbbiak haladó mozgásnak indulnak, mely a megszünt áram irányával megegyező lesz, tehát e drótban ilyen irányú indukciós áram keletkezik.

A Faraday–Maxwelli elmélet az elektromosság lényegét illetően semmi határozott feltevessel sem áll elő. Mind a két tudós többször hangoztatja írásaiban, hogy e kérdést eldöntetlenül akarják hagyni; következtetéseik, számításaik helyessége megmarad, bármiképpen is gondolkozzunk arról, hogy mi az elektromosság. Az elmélet meg is mutatta, hogy az elektromos jelenségek tana minden ellentmondás nélkül felépíthető, kiindulva a közvetett erők létezésének alapgondolatából. A főbb tételeket s néhány tünetény magyarázási módját megismertük. Kiemeljük, hogy az elmélet az összes elektromos jelenségeket egységes szempontból tudta megmagyarázni, amely egységesítés egyáltalában egyik legnagyobb jelentősége. Amit Faraday kísérletei alapján kimondott, hogy az elektromosság összes fajtája – a dörzslési, a galván-, a hő-, a mágneselektromosság – lényegben azonos, különbség a működő elektromos mennyiségben s a feszültségben nyilvánul; amit már ő megállapított, hogy a jó és rossz vezető elnevezés csak fokozatbeli differenciát mutat, az ezen elmélet alapján is egységesen következett. A Faraday–Maxwell hipotézis első sorban kísérleti tényeken épült fel; magyarázataiban azonban lassanként nagyon komplikált lett, különösen igen bonyolódottakká váltak az éther szerkezetére vonatkozó feltevései.

\*

1910 decemberében a 'Középiskolai Matematikai Lapok'-ban Péch Aladár '*Az elektromágneses fényelmélet*' című cikkében<sup>88</sup> a maxwelli elméletet ismertette a felsős gimnazistáknak megfelelő módon. Ami nem meglepő, hiszen ebben az esetben csak *közölni* kell, hogy a Maxwell elméletből következik a fény elektromágneses hullám volta, ezt néhány mérési adattal alátámasztani, így elkerülve az elmélet fogalmi és matematikai bonyodalmait.

<sup>88</sup> Péch Aladár: *Az elektromágneses fényelmélet*. = Középiskolai Matematikai Lapok. Vol. 18. (1910) No. 4–5. (december) pp. 73–79.

Az elektromágneses fényelmélet<sup>89</sup>

A Faraday–Maxwell elmélet szerint<sup>90</sup> az elektromos és mágneses jelenségeket valamely testről a másikra a két test közti teret kitöltő valamiféle közeg (éter) közvetíti. De a fénynek hullámelmélete ugyan ezen gondolatot veszi alapul a fényjelenségeknél. Nem lehet-e alaposan megokolni azon feltevést, hogy az elektromos-mágneses és fényjelenségeket közvetítő ezen médium azonos. Maxwell e kérdést úgy akarta eldönteni, hogy megkísérelte földéríteni, vajon a jelenségek ezen említett két csoportjára vonatkozó ismereteinkből külön-külön nem következnek-e az éterre nézve ugyanazon tulajdonságok? Mert ha ez így van, akkor legalább is valószínűbb lesz a gondolat, hogy ezen médium a két esetben azonos.

Maxwell elsősorban azon sebességeket hasonlította össze, mellyel az elektromágneses és fényjelenségek ezen föltételezett közegben terjednek. Az előbbire vonatkozólag a levegőt illetőleg elméleti számítások alapján  $288,000 \text{ km sec}^{-1}$  értéket talált, mely a fény terjedési sebességének kísérletekkel meghatározott ismeretes értékével megfelelő megegyezést mutatott. Az legalább is meg volt állapítható, hogy a két eredmény nem mond egymásnak ellen. Egyéb anyagokra vonatkozólag az elmélet szerint az elektromos jelenségeknél a sebességek fordítva arányosak a dielektromos állandók négyzetgyökeivel, a fényre vonatkozólag pedig a törésmutatóval. A dielektromos állandó csak a paraffinra volt elég pontossággal megállapítva; ezen testnél

a törésmutató: 1.422

a dielektromos állandó négyzetgyöke: 1.405

amely két érték között már nem elég tökéletes a megegyezés. Maxwell azonban, egyéb elméleti okokra is támaszkodva, megmaradt azon nézete mellett, hogy elméletének alaptétele, mely szerint a fény- és elektromágneses jelenségeket ugyanazon médium terjeszti, ugyanazon sebességgel, elfogadható, föltéve, hogy a későbbi vizsgálatok egyéb anyagoknál nem fognak jelentékeny eltéréseket adni ezen említett két számértékre nézve. (...)

E kísérleteket más kutatók is többszörösen megismételték s kibővítették; az eredmények összhangzóan mind azt mondták, hogy az elektromos sugarakra nézve is fennállanak a fénysugarak törvényei.

<sup>89</sup> Péché Aladár: Az elektromágneses fényelmélet. = Középiskolai Matematikai Lapok. Vol. 18. (1910) No. 4–5. (december) pp. 74–75., p. 78.

<sup>90</sup> Péché Aladár: Az elektromosság fizikai elmélete. (II.) A Faraday–Maxwell elmélet. = Középiskolai Matematikai Lapok. Vol. 16. (1909) No. 8. (március) pp. 177–181.

Az eredmények két irányban is szolgáltatottak döntést. Először kimutatták, hogy az elektromos hatások a térben hullámmozgással, véges idő alatt terjednek, megfelelően Faraday felfogásának; tehát nem távolbাহató erők módjára. Azután megmutatták, hogy a terjedés sebessége egyenlőnek vehető a fény terjedési sebességével s az elektromos sugarak minden egyéb tekintetben is úgy viselkednek, mint a fénysugarak, amely eredmények Maxwell gondolatának helyességét igazolták.

### **Wagner Alajos 1909-es magyarázata**

Ilyen formában kerültek be a maxwelli eredmények a XX. század első évtizedében a jobb gimnáziumi tankönyvekbe. Az egyik legjobbnak szerzője Wagner Alajos főgimnáziumi igazgató, aki két évig volt Kolozsváron Abt Antal tanársegéde, majd hosszú ideig a budapesti gyakorló gimnáziumban tanított. Számos középiskolai matematika és fizika tankönyv szerzője. A középiskolák nyolcadik osztálya számára írt fizika könyve tankönyvektől szokatlan módon számos egészen új kutatási eredményről is beszámol. Az elektromágnességnél részletesen ír Faraday és Hertz eredményeiről, mert ezeket el lehet mondani gimnazistáknak, és kettőjük között megemlíti Maxwell nevét, akinek alapvető, de nem részletezhető érdemei vannak ezen a területen.

### **Wagner Alajos**

#### **Az elektromos és a fénytűnemények összefüggése<sup>91</sup>**

#### **223. §. Faraday és Maxwell hypothesise**

A gravitációban s az elektromos és mágneses tűneményekben a fizikai tűnemények oly két nagy csoportját ismertük meg, amelyeket rendszeren távolba való hatásoknak nyilvánítunk. Az ily hatások valamely testből indulnak ki és más, az előbbtől néha igen nagy távolságban elhelyezett testnél lesznek észrevehetőek, anélkül, hogy a hatás továbbterjesztésében a közbeeső tér is észrevehető szerephez jutna. A távolba való hatásokkal azonban gondolkodásunk nem képes megbarátkozni, amennyiben csak oly hatásokról lehetnek képzeink, amelyek részecskéről részecskére terjednek tovább a távolba.

Az elektromosság terén először Faraday (1845) igyekszik a távol-

<sup>91</sup> Forrás: Wagner Alajos: Fizika. II. rész. A középiskolák VIII. osztálya számára. 4. kiad. Bp., 1909. Lampel. pp. 137–138, 139, 143.

ba való hatást megmagyarázni. Faraday szerint ugyanis az elektromos hatások közvetítői, hordozói a dielektrikumok, melyekben a hatások részecskéről részecskére tovább terjednek. A vezető felszínétől, mint niveaufelülettől minden irányban erővonalak indulnak ki s valamely dielektrikumon keresztül a végtelenbe, vagy más vezetőhöz haladnak. Faraday szerint az elektromos erő hatása alatt a dielektrikum legkisebb részecskéiben az elektromosság az erővonalak irányában eltolódást szenved, úgy hogy a részecskék egyik vége negatív s másik vége pozitív elektromosságú lesz. Az ily állapotú dielektrikumot Faraday *sarkított dielektrikumnak* nevezi. (...)

Látjuk, hogy Faraday a vezetőnek a távolba való hatását a vezetőt körülburkoló közegnek, a térnek az erővonal irányában való hatásával helyettesíti. De mihelyt a tér hatását szemügyre vesszük, önkéntelenül is felmerül az a kérdés, hogy mi terjeszti tovább a hatásokat a térnek egymástól elkülönített részecskéi között. Minthogy a fény-ætherről azt tanultuk, hogy az egész világtér betölti, a testek részecskéit körülburkolja, azért előtérbe lép az a második kérdés, hogy vajon nem lehetne-e a fényæther az elektromos és mágneses hatásoknak is a hordozója? Faraday és később Maxwell igyekezett a fény-ætherről szóló hypothesisit ebben az irányban kibővíteni és Maxwellnek, sikerült (1865) elméleti úton kimutatnia, hogy az elektromosságot az æther transversalis hullámai terjesztik tovább, s hogy e hullámok a fény sebességével haladnak tovább. Maxwell hypothesisit és a fénynek e hypothesisre alapított *elektromágneses elméletét* hathatósan támogatja az a körülmény, hogy a kísérletek a továbbterjedés sebességét az elmélettel megegyezőnek mutatják. (...)

## 225. §. Hertz kísérletei

A fényt útjában valamely ernyővel feltartóztathatjuk, az ernyő árnyékot vet. Hertz kimutatta, hogy az elektromos rezgések is sugarakban terjednek tovább. Midőn kísérleteinél oly elektromos hullámokat használt föl, melyeknél a rezgésidő  $1.10^9$  sec s a hullámhosszúság 33 cm, akkor a fémernyő szintén árnyékot vetett, azaz útját állta az elektromos hullámoknak. Alkalmas visszaverő síkfelületek megválasztásával kimutatta, hogy az elektromos sugarak visszaverődése alkalmával a visszaverődés-szög szintén ugyanakkora, amekkora a beesés-szög. Zinkbádogból készült hatalmas vájtűkör fókuszában a resonator szikrája sokkal erőteljesebb, mint a tér más helyén. Ha az elektromos sugarak elszigetelőbe, azaz oly közegbe lépnek, mely az elektromos sugarakra nézve átlátszó, akkor a határlapon törést szenvednek. Hertz szurokból 1.5 m magas prsimát készített  $30^\circ$ -ú törésszöggel, a resonator a prisma második lapja mögött mutatta a szikrá-

kat leghosszabbnak, mely az elektromos sugarak eredeti irányától körülbelül 22°-nyira tér el. E kísérletei alapján a szurok elektromos törésmutatóját körülbelül 1.7-nek találta, míg optikai törésmutatója 1.5 és 1.6 között fekszik. Végre sikerült Hertznek az elektromos sugaraknál a sarkítás tünetényeihez is hasonló tünetényeket megfigyelni.

Hertz nagy fontosságú kísérletei kétségtelenül igazolják, hogy az elektromos hullámok éppen úgy terjednek tovább, mint a fényhullámok; az előbbieket ugyanoly joggal nevezhetjük nagy hullámhosszúságú fényhullámoknak, amily joggal őket elektromos hullámoknak hívjuk. Az utóbbi szempontból az ætherhullámoknak négyféle hatásáról beszélhetünk, amidőn a hatások osztályozásának alapjául a hullámhosszúságot választjuk. A legrövidebb ætherhullámoknak chemiai hatásuk, a hosszabbaknak (körülbelül 0.761  $\mu$ -ig) fényhatásuk, a még hosszabbaknak (körülbelül 0.1 mm-ig) meleghatásuk, végre a leghosszabbaknak elektromos hatásuk van.

Jogosan remélhetjük, hogy a Hertz-féle kísérletek az elektromos és fénytünteményeknek még szorosabb összekapcsolásával az elektromosságról való nagyon is halvány ismereteinket a közeljövőben sokkal élesebben megvilágítják; annyi mindenesetre már most is bizonyos, hogy az elektromos hatások nem távolba való hatások, s ez Hertz éles elméjű kísérleteinek egyik fő eredménye.

\*

A mai napig így van, ahogy a XX. század elejére kialakult: a maxwelli elektrodinamika a fizikusok és villamosmérnökök tudománya, nincs a lényegét átadni képes népszerű változata. Ahogy nincs az általános relativitáselméletnek vagy a Bolyai geometriának sem. Az elektromos és mágneses térerősségek hordozzák a televízió és az Univerzum csillagainak üzeneteit, a párhuzamosok találkoznak a végtelenben, ám aki ennél többet akar tudni, annak ehhez sok időre lesz szüksége. Mert *minden ami kíváló éppoly nehéz mint amilyen ritka.*